



Xavier Fernandes Parreira

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

Gestão da Manutenção Aplicada a Linhas Especializadas em Corte de Aço

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Doutor José Mendonça Dias – Faculdade de
Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado

Arguente: Prof. Doutor José Augusto Silva Sobral

Vogal: Prof. Doutor José Mendonça Dias

Vogal: Engenheiro Ângelo Manuel dos Santos Rocha



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2011

Gestão da Manutenção Aplicada a Linhas Especializadas em Corte de Aço

© 2011 Xavier Fernandes Parreira

Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

Copyright

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“Cada vez há uma maior competitividade entre as empresas,
e a eficácia da manutenção pode ditar a lei do mais forte.”

(Paulo Cardoso)

Agradecimentos

Quero por este meio mostrar os meus sinceros agradecimentos a todos os que, directamente ou indirectamente tornaram possível o desenvolvimento e redacção desta dissertação.

Ao terminar este trabalho quero agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor José Mendonça Dias, pela disponibilidade, dinamismo científico e respectivas sugestões valiosas, relativas à estruturação temática deste trabalho.

Agradeço também ao Eng.º Ângelo Rocha, director de manutenção da Bamesa – SLEM, pelo seu apoio e orientação no contexto da organização, assim como a ajuda na interpretação científica dos resultados provenientes do estudo realizado naquela organização.

Agradeço igualmente à Direcção da Bamesa – SLEM pela possibilidade dada para a realização da dissertação dentro desta organização, sem esta este estudo não poderia ter sido realizado.

Agradeço à minha família, pelo apoio, compreensão e motivação demonstrados tanto na realização desta dissertação como em todo o meu percurso académico que realizei até à presente data.

Por último, um grande obrigado a todos os amigos e colegas, que, ao longo dos meses de realização deste trabalho, demonstraram todo o apoio e incentivo, que me permitiu a conclusão desta dissertação.

Resumo

A Engenharia de Manutenção baseia-se na melhoria da fiabilidade de sistemas. Esta melhoria traduz-se num aumentando da eficiência dos sectores de uma empresa, principalmente a produtividade de linhas de produção. Pode-se, deste modo, afirmar que a manutenção contribui de modo directo para a confiança, flexibilidade, rapidez e redução de custos de uma organização.

O presente trabalho apresenta uma análise de fiabilidade a sistemas reparáveis de linhas de produção de corte de aço. Pretende-se, perceber o estado destas e aumentar a sua eficácia de produção, apresentando-se planos de manutenção preventiva.

A realização deste estudo decorreu com base nos registos históricos de paragens de produção, desenvolvendo-se através destes, uma análise estatística com recurso ao Teste de *Laplace* para se perceber a tendência das falhas e à distribuição de *Weibull* para modelar os tempos entre intervenções nos planos de manutenção preventiva.

Foram identificados os sistemas que mais contribuíram de forma negativa para o decréscimo da fiabilidade sendo sobre estes que se teve especial atenção nos desenvolvimentos estatísticos apresentados.

Palavras – Chave: Manutenção Preventiva, Sistema Reparável, Eficácia, Fiabilidade, Teste de *Laplace*, *Weibull*

Abstract

Maintenance is based on improving the reliability of systems. This improvement leads to efficiency increase in determined sectors of a company, with the main focus on the productivity of production lines

Therefore, it's possible to say that maintenance contributes directly to the reliability, flexibility, speed and cost reduction in an organization.

This work presents a reliability analysis in a steel cutting production line. The purpose is to realize the condition of the line and increase its production efficiency, performing preventive maintenance plans.

This study has been based on historical production downtime records, developing through these statistical analyses, based on Laplace Test, in order to understand the tendency of failures, and the Weibull distribution to model times between interventions on the preventive maintenance plans.

Systems that contributed negatively towards reliability were identified. It was over these systems that required most attention, which have been developed the statistical studies presented.

Keywords: Preventive Maintenance, Reparable system, Efficiency Reliability, Weibull, Laplace Test

Acrónimos

\widehat{MTBF} – MTBF esperado após aplicação do programa de manutenção preventiva.

CMTBF – *Cumulative Mean Time Between Failures*

i.i.d – Independentes e identicamente distribuídos

MP – Manutenção Preventiva

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTBO – *Mean Time Between Occurrence*

MTTR – Tempo Médio de Reparação

PPH – Processo de Poisson Homogéneo

PPNH – Processo de Poisson não Homogéneo

RCM – *Reliability-Centered Maintenance*

ROCOF – *Rate of Occurrence of Failures*

SR – Sistema Reparável

TPM – Manutenção Produtiva Total

Simbologia

β – Parâmetro de forma

β^* – Parâmetro do modelo de Crow

$F(t)$ – Função distribuição cumulativa

$f(t)$ – Função densidade de probabilidade

$F(x|t_0, \eta, \beta)$ – Função distribuição cumulativa de Weibull

$f(x|t_0, \eta, \beta)$ – Função densidade de probabilidade de Weibull

$h(t)$ – Função de risco

$h(x|t_0, \eta, \beta)$ – Função de risco de Weibull

λ – Taxa de falhas constante – Processo de Poisson Homogéneo

λ_0 – Taxa de falhas

λ^* – Parâmetro do modelo de Crow

n_f – Número de falhas

η – Parâmetro de escala ou vida característica

$R(t)$ – Função fiabilidade ou sobrevivência

$R(x|t_0, \eta, \beta)$ – Função fiabilidade ou sobrevivência de Weibull

$\rho(t)$ – Taxa de falhas – Processo de Poisson Não Homogéneo

$\rho(\tau)$ – Taxa de falhas – Modelo de Crow

T – Tempo do período em estudo

t – Tempo desde a falha anterior

τ – Tempo de vida do sistema no momento da falha

\tilde{t} – Tempo de um intervalo censurado

t_0 – Parâmetro de localização ou vida mínima

z_0 – Estatística de Teste de Laplace

Índice Geral

PARTE I.....	1
Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Âmbito.....	1
1.2. Objectivo	2
1.3. Metodologia	2
1.4. Organização da dissertação	3
Capítulo 2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Manutenção	5
2.2. A Manutenção ao longo dos tempos	6
2.3. Gestão da manutenção.....	8
2.4. Tipos de manutenção.....	10
2.5. Fiabilidade.....	12
Capítulo 3. Estatística de Falhas	15
3.1. Análise de sobrevivência.....	15
3.2. Análise estatística das falhas	17
3.3. Métodos não paramétricos de estimativa da Função Fiabilidade.....	21
3.4. Sistemas reparáveis	23
3.5. Distribuição de <i>Weibull</i>	29
Parte II	31
Capítulo 4. Processo de Corte de Aço	31
4.1. Apresentação do Grupo.....	31
4.2. A Bamesa - SLEM	33
4.3. Processo de corte de aço e Produtos da Bamesa - SLEM.....	34
4.3.1. Corte de aço – Sistema em análise	38
Capítulo 5. Análise Estatística do Sistema em Estudo	45

5.1. Escolha do Sistema Reparável	45
Capítulo 6. Realização de um Plano de Manutenção Preventiva	51
6.1. Análise das falhas ocorridas	51
6.2. Elaboração dos Planos de Manutenção Preventiva	59
Capítulo 7. Conclusões Gerais.....	83
7.1. Conclusões	83
7.2. Sugestões para trabalhos futuros	86
Bibliografia	87
Anexos	91

Índice de Figuras

Figura 2.1 Posição da manutenção até à década de 30	6
Figura 2.2 - Posição da manutenção entre a década de 30 e de 40.....	7
Figura 2.3 - Modelo de um sistema de gestão de manutenção orientado por processos..	9
Figura 2.4 - Diferentes tipos de manutenção	10
Figura 3.1 Representação dos dados censurados de Tipo I.....	16
Figura 3.2 Curva de banheira	24
Figura 4.1 Organigrama do Grupo Bamesa.....	32
Figura 4.2 Instalações da Bamesa – SLEM.....	33
Figura 4.3 Estrutura organizacional da Bamesa – SLEM.	34
Figura 4.4 Exemplo de um Balote.....	35
Figura 4.5 Exemplo de Rolos ao Alto.	35
Figura 4.6 Exemplo de Rolos Deitados	35
Figura 4.7 Fluxograma de produção da BAMESA – SLEM.....	37
Figura 4.8 Linha de Corte Longitudinal (Parte I).....	40
Figura 4.9 Linha de Corte Longitudinal (Parte II).	41
Figura 4.10 Guilhotina Circular	41
Figura 4.11 Linha de Corte Longitudinal (Parte III).	42
Figura 4.12 Linha de Corte Transversa	43
Figura 5.1 Toneladas produzidas vs. Toneladas Previstas.	46
Figura 5.2 Eficiência da Linha de Produção CL03.	47
Figura 5.3 Representação gráfica do Teste de Laplace para as Paragens da Linha CL03.	48
Figura 5.4 Desperdiço de tempo em função de cada factor.....	49
Figura 6.1 Distribuição das falhas ao longo do ano de 2009 e 2010 da CL03.....	53
Figura 6.2 Taxa de falhas da CL03.....	54

Figura 6.3 Distribuição das falhas ao longo do ano de 2009 e 2010 da CL04.....	56
Figura 6.4 Distribuição das falhas ao longo do ano de 2009 e 2010 da CL08.....	58
Figura 6.5 Diagrama de Pareto da CL03.	59
Figura 6.6 Função Densidade de Probabilidade da guilhotina Circular da linha CL03 (para o limite inferior do intervalo de confiança).....	61
Figura 6.7 Função Densidade de Probabilidade da guilhotina Circular da linha CL03 (para o limite superior do intervalo de confiança).....	62
Figura 6.8 Evolução da eficácia do Plano de manutenção preventiva ao longo do tempo.	63
Figura 6.9 Função Densidade de Probabilidade do Desenrolador da linha CL03 (para o limite inferior do intervalo de confiança).	63
Figura 6.10 Função Densidade de Probabilidade do Desenrolador da linha CL03 (para o limite superior do intervalo de confiança).	64
Figura 6.11 Diagrama de Pareto dos Subistemas da CL04.....	67
Figura 6.12 Função Densidade de Probabilidade do Desenrolador da linha CL04 (para o limite inferior do intervalo de confiança).	69
Figura 6.13 Função Densidade de Probabilidade do Desenrolador da linha CL04 (para o limite superior do intervalo de confiança).	70
Figura 6.14 Diagrama de Pareto dos subistemas da linha CL08.	75
Figura 6.15 Função Densidade de Probabilidade da Guilhotina Circular da linha CL08 (para o limite inferior do intervalo de confiança).	77
Figura 6.16 Função Densidade de Probabilidade da Guilhotina Circular da linha CL08 (para o limite superior do intervalo de confiança).	78
Figura A. 1 Função distribuição de probabilidade da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma.	91
Figura A. 3. Função distribuição de probabilidade cumulativa da distribuição de Weibull com o cenário de varias parâmetros de escala.	92
Figura A. 2 Função distribuição de probabilidade cumulativa da distribuição de Weibull com o cenário de varias parâmetros de forma	92

Figura B. 1 Representação gráfica da disponibilidade da Linha de corte CL03 em 2010.	93
Figura C. 1 Teste de Laplace da guilhotina circular da linha CL03.....	94
Figura C. 2 Teste de Laplace do desenrolador da linha CL03.	94
Figura C. 3 Teste de Laplace ao desenrolador da linha CL04.....	94
Figura C. 4 Teste de Laplace ao carro de entrada da linha CL04.....	95
Figura C. 5 Teste de Laplace da guilhotina circular da linha CL04.....	95
Figura C. 6 Teste de Laplace do sistema hidráulico da linha CL04.....	95
Figura C. 7 Teste de Laplace da guilhotina circular da linha CL08.....	96
Figura C. 8 Teste de Laplace do desenrolador da linha CL08.	96
Figura C. 9 Teste de Laplace do enrolador da linha CL08.....	96
Figura D. 1 Representação das falhas acumuladas na guilhotina circular da linha CL03.	97
Figura D. 2 Representação das falhas acumuladas do desenrolador da linha de produção CL03.	97
Figura D. 3 Representação das falhas acumuladas do desenrolador da linha CL04.	98
Figura D. 4 Representação das falhas acumuladas do carro de entrada da linha CL04.	98
Figura D. 5 Representação das falhas acumuladas da guilhotina circular da linha CL04.	99
Figura D. 6 Representação das falhas acumuladas do sistema hidráulico da linha CL04.	99
Figura D. 7 Representação das falhas acumuladas da guilhotina circular da linha CL08.	100
Figura D. 8 Representação das falhas acumuladas do desenrolador da linha CL08.	100
Figura D. 9 Representação das falhas acumuladas do Enrolador da linha CL08.....	101
Figura E. 1 Função Densidade de Probabilidade do carro de entrada da linha CL04 (para o limite inferior do intervalo de confiança).	102
Figura E. 2 Função densidade de Probabilidade do carro de entrada da linhaCL04 (para o limite superior do intervalo de confiança).	102

Figura E. 3 Função densidade de Probabilidade da guilhotina circular da linha CL04 (para o limite inferior do intervalo de confiança).....	102
Figura E. 4 Função densidade de Probabilidade da guilhotina circular da linha CL04 (para o limite superior do intervalo de confiança).....	102
Figura E. 5 Função densidade de Probabilidade do sistema hidráulico da linha CL04 (para o limite inferior do intervalo de confiança).....	102
Figura E. 6 Função densidade de Probabilidade do sistema hidráulico da linha CL04 (para o limite superior do intervalo de confiança).....	102
Figura E. 7 Função densidade de Probabilidade do desenrolador da linha CL08 (para o limite superior do intervalo de confiança).....	102
Figura E. 8 Função densidade de Probabilidade do desenrolador da linha CL08 (para o limite inferior do intervalo de confiança).....	102
Figura E. 9 Função densidade de Probabilidade do enrolador da linha CL08 (para o limite inferior do intervalo de confiança).....	102
Figura E. 10 Função densidade de Probabilidade do enrolador da linha CL08 (para o limite superior do intervalo de confiança).....	102

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 Especificações Técnicas das Linhas de corte Transversal.....	38
Tabela 4.2 Especificações Técnicas das Linhas de Corte Longitudinal.....	39
Tabela 5.1 Horas de Paragens das Linhas de Produção.	46
Tabela 5.2 Teste de Laplace para as paragens de produção da Linha CL03.....	48
Tabela 5.3 Percentagem de tempo de paragem dos vários segmentos.	49
Tabela 6.1 Teste de Laplace às falhas da CL03.	53
Tabela 6.2 Teste de Laplace às falhas da CL04.	55
Tabela 6.3 Teste de Laplace às falhas da CL08.	58
Tabela 6.4 Teste de Laplace aos subsistemas com mais falhas da CL03.....	60
Tabela 6.5 Avarias recorrentes nos dois sistemas mais critica linha CL03.....	60
Tabela 6.6 Checklist de intervenção preventiva para os subsistemas mais críticos da linha CL03.	65
Tabela 6.7Planeamento temporal de intervenção nos subsistemas mais críticos da linha CL03.	66
Tabela 6.8 Checklist de intervenção preventiva para os restantes subsistemas da linha CL03.	66
Tabela 6.9 Planeamento temporal de intervenção nos subsistemas menos críticos da linha CL03.	67
Tabela 6.10 Teste de Laplace aos subsistemas principais da CL04.	68
Tabela 6.11 Falhas recorrentes nos subsistemas mais críticos da linha CL04.	68
Tabela 6.12 Quadro resumo das intervenções de manutenção preventiva dos principais subsistemas da CL04.	71
Tabela 6.13 Checklist de intervenção preventiva para o desenrolador da linha CL04. .	72
Tabela 6.14 Planeamento temporal de intervenção no desenrolador da linha CL04.	72
Tabela 6.15 Checklist de intervenção preventiva no carro de entrada e guilhotina circular da linha CL04.	73

Tabela 6.16 Planeamento temporal de intervenção no carro de entrada e na guilhotina circular da linha CL04.	73
Tabela 6.17 Checklist de intervenção preventiva no sistema hidráulico da linha CL04.	74
Tabela 6.18 Planeamento temporal de intervenção no sistema hidráulico da linha CL04.	74
Tabela 6.19 Checklist de intervenção preventiva nos subsistemas menos críticos da linha CL04.	74
Tabela 6.20 Planeamento temporal de intervenção nos subsistemas menos críticos da linha CL04.	75
Tabela 6.21 Teste de Laplace dos principais subsistemas da CL08.	76
Tabela 6.22 Principais falhas dos subsistemas críticos da linha CL08.	76
Tabela 6.23 Quadro resumo das intervenções de manutenção preventiva dos principais subsistemas da CL08.	78
Tabela 6.24 Checklist de intervenção preventiva no desenrolador e guilhotina circular da linha CL08.	79
Tabela 6.25 Planeamento temporal de intervenção no desenrolador e guilhotina circular da linha CL08.	80
Tabela 6.26 Checklist de intervenção preventiva no enrolador da linha CL08.	80
Tabela 6.27 Planeamento temporal de intervenção no enrolador da linha CL08.	80
Tabela 6.28 Checklist de intervenção preventiva nos sistemas menos críticos da linha CL08.	81
Tabela 6.29 Planeamento temporal de intervenção nos subsistemas menos críticos da linha CL08.	81
Tabela B. 1 Registos de produção da linha CL03 no ano de 2010.	93

PARTE I

Capítulo 1. Introdução

1.1 Âmbito

1.2 Objectivo

1.3 Metodologia

1.4 Organização da dissertação

1.1. Âmbito

A elaboração do estudo mostrado nesta dissertação teve lugar na empresa Bamesa – SLEM, centro de serviço especializado em corte de aço plano.

A organização mencionada pretendia um estudo de eficácia e análise estatística aos sistemas-máquinas que contribuíssem de forma ultrajante para uma redução da eficácia e fiabilidade das máquinas de corte.

Sugeriram-me, por isso, analisar a eficácia de uma das linhas de corte e realizar um estudo de fiabilidade capaz de verificar as causas que contribuíam para a redução da fiabilidade e respectivas melhorias possíveis de se efectuar.

O estudo realizado tem como base os dados temporais e registos de produção, que têm como suporte todas as ocorrências que resultaram em paragem da produção quando esta não devia acontecer.

Com estes dados pretende-se identificar os sistemas - máquina que contribuem para um decréscimo da fiabilidade, apresentando-se um plano de manutenção preventiva de modo a aumentar a eficiência do sistema.

1.2. Objectivo

O principal objectivo do presente estudo consiste em determinar quais os principais sistemas que contribuem para o decréscimo da fiabilidade de produção. A principal fonte de informação baseia-se no registo histórico de todas as paragens de produção no período normal de laboração.

A informação, que suporta o presente estudo, contabiliza todas as paragens adjacentes com a qualidade do produto final, programação de cortes e acções de manutenção correctivas.

Considerou-se um período de tempo decorrido entre 31 de Dezembro de 2009 e 31 de Dezembro de 2010 para o estudo da eficiência da máquina. Para a elaboração do plano de manutenção preventiva recorreu-se aos dados temporais de dois anos, de 31 de Dezembro de 2008 a 31 de Dezembro de 2010.

Os operadores de corte registaram, informaticamente, aquando da ocorrência da paragem de produção, a informação sobre a data, a máquina em que ocorreu, o tempo de paragem, o motivo a que se devem a paragem e uma breve descrição do problema detectado, bem como as acções correctivas tomadas.

1.3. Metodologia

A metodologia adoptada na realização desta dissertação consiste em realizar uma simbiose entre os conceitos de fiabilidade, eficácia e gestão da manutenção.

Numa primeira parte do estudo, separar-se-ão os dados temporais por categorias de ocorrência de paragem de produção.

Posteriormente, procedeu-se à realização de um estudo da eficácia, assim como ao estudo estatístico da evolução das paragens de produção da máquina, com recurso ao Teste de *Laplace*, distribuição estatística de *Weibull* e respectivo indicador de desempenho MTBF.

A segunda parte, incidirá sobre, uma das maiores razões da perda de produtividade, a “fatia” das paragens provocadas por falhas de manutenção, fazendo uma análise estatística com recuso a Testes de *Laplace* e diagramas de Pareto de modo a identificar os sistemas - máquina com menor fiabilidade, estruturando um plano de manutenção preventiva com o objectivo de obter uma taxa de fiabilidade na ordem dos 80%.

Estas análises estatísticas não seriam possíveis sem o recurso aos *softwares* informáticos *Excel* e *Statistica*.

1.4. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em duas partes, sendo estas constituídas por um total de sete capítulos que serão descritos de um modo sucinto. A divisão deste trabalho em duas partes e respectivos capítulos, prende-se com o facto de conseguir deste modo, proporcionar ao leitor uma consulta isolada dos conteúdos, criando assim uma cadeia de compreensão das metodologias apresentadas assim como o enquadramento destas no processo produtivo em estudo.

A Parte I engloba o capítulo 1, capítulo 2 e capítulo 3. O Capítulo 1 – Introdução, engloba uma visão geral do que vai tratar o presente trabalho, onde são definidos objectivos assim como a sua estruturação e apresentação. O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica, apresenta um levantamento de todos os conceitos teóricos relacionados com a temática em estudo de modo a que estes sejam perceptivos quando evocados ao longo da dissertação. O Capítulo 3 – Estatísticas de Falhas mostra os conceitos estatísticos de um modo teórico para que estes sejam entendidos quando aplicados de um modo prático às análises e estudos efectuados no desenvolvimento do estudo.

A Parte II reúne o capítulo 4, capítulo 5, capítulo 6 e capítulo 7. O Capítulo 4 – Processo de Corte de Aço, faz uma abordagem geral à empresa onde foi desenvolvido o estudo assim como a explicação do processo de laboração desta organização no que concerne ao corte de aço. O Capítulo 5 – Análise Estatística do Sistema em Estudo, apresenta os Sistemas Reparáveis que vão ser alvo de estudo, neste caso de eficácia, de modo a perceber-se onde existem perdas de produtividade, actuando-se então para reduzir o desperdício. O Capítulo 6 – Elaboração de um Plano de Manutenção, mostra o cálculo de tempos entre intervenções de manutenção para cada máquina em estudo

tendo por base uma análise estatística às falhas ocorridas no período temporal em estudo. O Capítulo 7 – Conclusões Gerais, mostra as ilações que se tiram após a realização deste estudo, apresenta também algumas sugestões para trabalhos futuros de modo a que a se de continuidade ao processo de melhoria da produtividade.

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

2.1 Manutenção

2.2 Manutenção ao longo dos tempos

2.3 Gestão da manutenção

2.4 Tipos de manutenção

2.5 Fiabilidade

2.1. Manutenção

Todos os equipamentos, processos e instalações, sejam eléctricos, electrónicos, pneumáticos ou hidráulicos, com o passar do tempo, sofrem a degradação das suas normais condições de funcionamento, alterando assim o seu normal funcionamento. É nestas alturas que a manutenção intervém, de modo a fazer com que estes equipamentos ou processos mantenham ao longo do tempo a máxima eficiência e cumpram na plenitude as funções para os quais foram desenvolvidos (Marques, 2009).

Pelos motivos descritos, é necessário que se realizem reparações, inspecções, rotinas preventivas, substituição de órgãos e de peças, mudanças de óleo, limpezas, pinturas, a todos estes processos podemos chamar de manutenção (Dias *et al*, 2009, p2).

A definição de manutenção é apresentada de várias formas, dependendo sempre dos autores encontrados na vasta oferta bibliográfica.

Cabral (1998), diz que a manutenção é a combinação das acções de gestão, técnicas e económicas, aplicadas aos bens, para optimização dos seus ciclos de vida, entendendo-se por bem o produto concebido para assegurar uma determinada função. A manutenção resulta então, num conjunto de acções e reacondicionamentos necessários para contrabalançar a deterioração e os desgastes provocados pelo movimento relativo das peças, pela oxidação ou perda de eficiência dos equipamentos, materiais e elementos

protectores. Uma boa manutenção consiste em confirmar todas as operações referidas com uma optimização dos custos associados.

2.2. A Manutenção ao longo dos tempos

Segundo Tavares (2005), a história da manutenção remonta ao fim do século XIX. Com a grande mecanização das indústrias, apareceu a necessidade de se lhes realizarem reparações. Até 1914, a Manutenção tinha uma importância mínima sendo efectuada pelo operador de linha.

Ford, quando implantou a produção em série, as suas fábricas passaram a realizar pequenos programas de produção, onde se sentiu a necessidade de se criarem reduzidas equipa que pudessem realizar reparações nas máquinas no menor espaço de tempo possível. Deste modo nasceu um órgão subordinado à produção, chamado hoje em dia por manutenção correctiva, esquematizado na figura 2.1 (Tavares, 2005, p2).



Figura 2.1 Posição da manutenção até à década de 30 (adaptado de Tavares, 2005, p2).

A situação desenvolvida por Ford manteve-se até a década de 30 do sec. XX. Quando no início da década de 40, em plena II Guerra Mundial, existiu a necessidade de se aumentarem as cadências de produção, levando a que as organizações vissem a necessidade de se desenvolver um processo de prevenção das avarias, que juntamente com as acções correctivas, formando assim a área da manutenção de uma empresa. A estrutura da manutenção revelou-se tão importante como a produção, como mostra o organograma da figura 2.2 (Tavares 2005, p2).

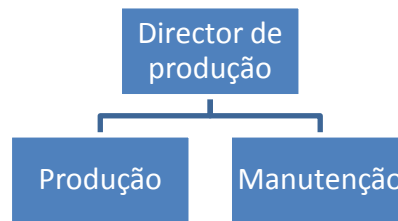


Figura 2.2 - Posição da manutenção entre a década de 30 e de 40 (adaptado de Tavares, 2005).

No entanto, a manutenção era normalmente elaborada a partir da experiência dos operadores de linhas e pelos fornecedores, cujas acções se podem considerar apenas os primeiros passos para a manutenção preventiva.

Já na década de 60, com a crise do petróleo, viu-se a necessidade de se aprofundarem os investimentos na redução de custos de produção e aumento da eficiência. Houve então, a urgência de se reduzirem os custos de manutenção, apostando-se novamente nesta área, nascendo assim a Engenharia de Manutenção que congrega, a manutenção correctiva e a manutenção preventiva aos custos a ela associados (Marques, 2009, pp 10-11).

No início dos anos 70, no Japão, apareceu um novo conceito introduzido pelo grupo TOYOTA, o TPM “*Total Productive Maintenance*”. Esta filosofia destacou-se por envolver as pessoas da produção activamente na manutenção, explorando a máxima de que “o operador é quem conhece melhor a máquina”. Por definição, o TPM consiste numa manutenção conduzida, onde existe a participação de todos, desde os operadores de máquina, o pessoal da manutenção, até ao nível superior da gestão, passando pelos quadros intermédios (Cabral, 1998, p 239).

A manutenção nas últimas décadas sofreu, como já foi descrito, grandes alterações em termos de conceito, levando a que esta passe de uma tarefa ingrata e dispendiosa, para ser considerada um facto determinante na produtividade e eficiência das organizações. Com esta evolução a gestão da manutenção tem-se tornado um facto determinante e ocupa um lugar de grande importância nos pilares estruturais de uma empresa (Cardoso, 1999, p 9).

2.3. Gestão da manutenção

Quando se adquire um equipamento, está-se desde então a comprar custos, não tendo muitas vezes a sensibilidade necessária para determinar a dimensão desses custos. Futuros problemas que se tenham no âmbito da manutenção, segurança, qualidade e ambiente estão logo incluídos no preço dos equipamentos (Cardozo, 1999. p 8).

Esta situação conduz-nos a ter em conta no acto de compra de um produto, os custos de manutenção assim como o custo do ciclo de vida do equipamento (Cardozo, 1999. p 8).

Deste modo, é perceptível que uma falta de atenção acerca dos pontos menos favoráveis de um equipamento pode levar a custos muito superiores ao valor dos próprios equipamentos. Assim, se a uma pequena parte desses custos for feita numa análise de prevenção e minimização desses pontos fracos, grandes custos poderiam ser evitados (Cardozo, 1999. p 8).

Cada vez há uma maior competitividade entre as empresas e a eficácia da manutenção pode ditar a lei do mais forte (Cardozo, 1999. p 8). Neste forte mercado actual, as organizações têm que atingir níveis de excelência no âmbito na inovação, diversidade, melhoria contínua e qualidade, ao melhor preço. Para se atingir este *target* as empresas têm de se munir de uma elevada flexibilidade e eficácia para alcançarem como objectivo a satisfação dos clientes. (figura 2.3).

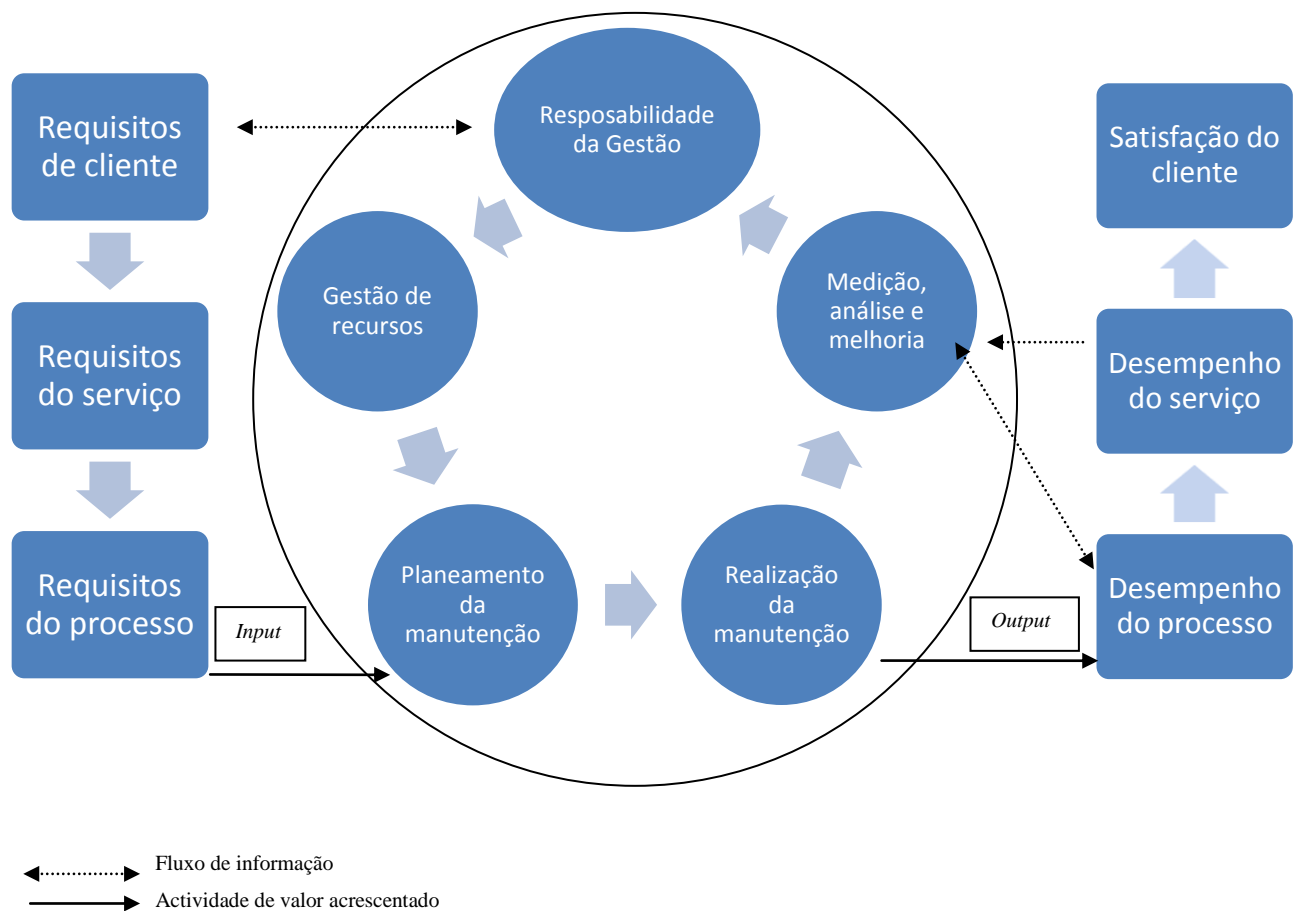


Figura 2.3 - Modelo de um sistema de gestão de manutenção orientado por processos (Adaptado NP 4483).

Toda esta evolução mostra que a aplicação de práticas convencionais de manutenção é muito limitada. Em consequência a manutenção foi dos ramos da gestão operacional que sofreu as maiores mudanças, levando ao aparecimento de um grande número de novas técnicas, com destaque para a análise estatística da fiabilidade e falhas de manutenção (Cardozo, 1999, p 9).

2.4. Tipos de manutenção

Uma vez introduzido o contexto histórico e a definição de manutenção, procede-se agora à sua diferenciação em âmbito industrial, assim como os seus indicadores.

Muitas vezes verifica-se entre os entendidos em manutenção alguma confusão entre a nomenclatura a utilizar-se para definir os tipos de manutenção. Estas situações existem porque por vezes são adoptadas nomenclaturas diferentes de indústria para indústria. Os nomes até podem mudar mas o conceito, esse tem que ser unânime, pois só com os conceitos definidos é que é possível determinar-se o tipo de manutenção a aplicar-se num sistema (Nascif, 2010) .

Assim e adoptando a nomenclatura de Assis, 2004 existem os seguintes tipos de manutenção:

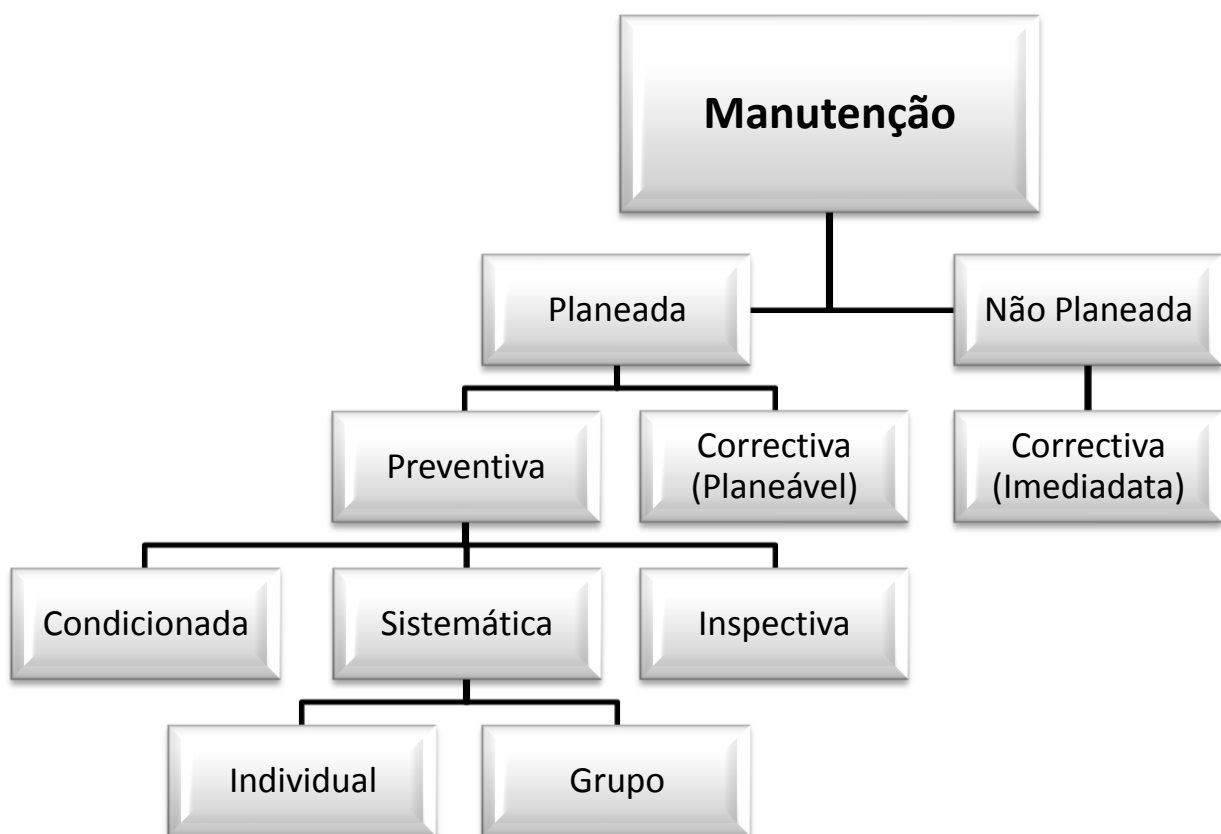


Figura 2.4 - Diferentes tipos de manutenção (Adaptado Assis, 2004, p. 184).

Manutenção Planeada

A manutenção quando é planeada, pode ser planeada da seguinte forma: correctiva (planeável) e preventiva.

A manutenção correctiva (planeável) tem como objectivo reconhecer as causas de uma falha e suprimir essas de vez.

Segundo a EN 13306 (2010)., a manutenção preventiva é um tipo de manutenção sempre planeada, realizando-se em espaços temporais estabelecidos previamente com o objectivo de atingir uma reduzida probabilidade de falha ou de degradação dos componentes.

A **manutenção preventiva** tem como principal função evitar a ocorrência de falhas. Ela pode ramificar-se em manutenção preventiva sistemática, manutenção preventiva condicionada e manutenção preventiva inspectiva (Assis, 2010, pp 184 -185).

- As manutenções sistemáticas ocorrem ciclicamente ou quando se está perante um componente ou sistema com uma determinada idade. Elas são suportadas com o conhecimento da deterioração de cada componente ou sistema e o risco de falha associado. Geralmente a prevenção advém de um estudo estatístico realizado às falhas (Assis, 2010, pp 184 -185). Este tipo de manutenção é usualmente aplicado a equipamentos com grande gastos em caso de falha, equipamentos cujas avarias provocam grandes perdas de produtividade ou a equipamentos que podem por em causa a segurança das pessoas (Marques, 2009, p. 14).
- As manutenções condicionadas, desencadeiam-se no fim do tempo útil de vida dos componentes quando já é possível prever com base em registos os parâmetros de degradação (Assis, 2010, pp 184 -185). Actuam sobre o equipamento apenas quando há indícios de mau funcionamento, descartando-se assim intervenções de manutenção desnecessárias e redução da probabilidade de ocorrência de falhas. Neste género de manutenção é comum usarem-se ferramentas como, vibrações, termografia, ultra-som e indicadores de degradação (Marques, 2009, p. 14).

- Nas manutenções inspectivas, estas procuram detectar falhas que ainda não se tenham pronunciado mas que já existem interiormente não sendo visíveis exteriormente. Estas falhas ocultas geralmente só são identificadas quando se realizam testes de funcionamento, ou exames em laboratório (Assis, 2010, pp 184 - 185).

Manutenção Não Planeada

Quando estamos perante um sistema ou componente em que não existe planeamento da manutenção, a manutenção é feita de forma correctiva.

Acções de manutenção correctiva (não planeada) têm como objectivo repor o mais depressa possível o funcionamento de um componente que falhou. Se a falha se revelar desastrosa a manutenção deve intervir de imediato para restabelecer a normalidade (Assis, 2010, p. 184-185). Marques (2009, p. 15), refere que do ponto de vista económico a manutenção correctiva é a mais dispendiosa, pois com intervenções não programadas o *stock* de peças de reserva tem que ser maior e as operações de urgência tendem sempre a ter custos superiores assim como a não disponibilidade dos equipamentos para produção.

2.5. Fiabilidade

A fiabilidade consiste na probabilidade de um elemento desempenhar uma função para o qual está especificado, segundo certas condições e durante um tempo previamente estabelecido (Dias, 2002, pp 11-12).

A fiabilidade não surgiu como um conceito único, mas sim a integração de vários conceitos estatísticos. A sua pertinência está na tentativa de equilibrar o risco de modo a que este seja reduzido assim como os custos de falhas, pois nenhuma actividade humana é feita sem se correr um mínimo risco, o mesmo acontece num equipamento que não está isento de uma taxa de falhas nula (Smith, 2001, p. 3).

O conceito de fiabilidade tornou-se um factor expressivo e importante com os fracassos ocorridos no desenvolvimento de material bélico na segunda grande guerra. Com o propósito de se conceberem bons produtos, de alta qualidade, com um *design* de confiança, a fiabilidade tem vindo a crescer com a tecnologia moderna.

O estudo de fiabilidade, nos dias hoje, já não é só efectuado em engenharia industrial, electrónica ou mecânica, mas também em áreas de engenharia informática e de comunicação. Muitos investigadores informáticos desenvolvem estatisticamente e estocásticamente os complexos sistemas informáticos de modo a aumentarem a sua fiabilidade (Nakagawa, 2005, p1).

Actualmente, a Fiabilidade como conceito estatístico, representa um dos aspectos mais relevantes na escolha e selecção dos sistemas, permitindo, de uma forma objectiva, uma selecção comparativa da sua qualidade ao longo do tempo (Dias, 2002, p13)

Segundo, Dias (2002), a fiabilidade pode ser definida, calculada e medida. É assim possível coliga-la à aptidão de um sistema, desenvolver uma determinada função e monitorização dessa aptidão no domínio do tempo. Esta monitorização, que corresponde à noção de probabilidade de execução de uma determinada tarefa, denomina-se fiabilidade do sistema.

Um dos objectivos do estudo da fiabilidade é fornecer a informação suficiente para a tomada de decisão. Por isso, quando se decide realizar um estudo de fiabilidade, é necessário determinarem-se os objectivos a atingir, os problemas e as limitações do estudo, face à informação disponível para a realização deste (Dias, 2002, p12).

Capítulo 3. Estatística de Falhas

3.1 Análise de sobrevivência

3.2 Análise estatística das falhas

3.3 Métodos não paramétricos da estimativa da fiabilidade

3.4 Sistemas Reparáveis

3.5 Distribuição de *Weibull*

3.1. Análise de sobrevivência

Análise de sobrevivência é o nome que se dá às técnicas estatísticas usadas para descrever e quantificar o tempo entre o qual ocorrer uma determinada situação (Stevenson, 2009, p3). Consiste assim num estudo estatístico de uma variável que mede a duração de tempo até à ocorrência de uma determinada situação. Esta análise estatística encontra-se presente nas mais variadas áreas científicas, como na fiabilidade industrial, nos ensaios clínicos, na engenharia em geral, na sociologia e psicologia (SAS Institute Inc, 1999, p300).

Os dados sobre os tempos de falhas abrangem duas situações: dados censurados e covaráveis dependentes do tempo, que podem ser de difícil tradução com os métodos estatísticos tradicionais. O objectivo da análise de sobrevivência consiste em dividir a informação, em dados censurados e não censurados para se calcularem estimadores dos parâmetros. O método da máxima verosimilhança é dos mais utilizados para obtenção dos estimadores (Dias, 2002, p.13).

Dados censurados

Em muitos casos quando se inicia um estudo de fiabilidade, o tempo de estudo T , inicia-se já no decorrer do processo e possivelmente após a ocorrência de algumas falhas. Neste caso consideram-se dados censurados todos os ocorridos para trás do tempo de início do estudo, chamados de dados censurados à esquerda. Também pode acontecer que T termine antes da ocorrência de mais falhas, censurando-se todos as falhas posteriores a T , chamados de dados censurados a direita (Marques, 2009, p.19).

Existem dois tipos de dados censurados, censurados Tipo I e Tipo II.

Os dados censurados de tipo I acontecem quando ocorrem em tempos definidos pelo estudo em questão. Delimita-se o tempo contabilizando-se as ocorrências que decorrem dentro desse período temporal. Na figura 3.1, encontram-se ilustradas algumas situações de dados censurados do tipo I, (a) mostra uma situação que tem vindo a ocorrer antes de se iniciar a sua monitorização $\tau = 0$, estando assim na presença de dados censurados à esquerda. (b) Mostra uma situação em que se começou a fazer a monitorização desde o início do processo, mas que se cessou a monitorização antes do seu final $\tau = A$. Esta-se assim, perante dados censurados à direita. (c) Mostra a situação em que a monitorização é efectuada já com o processo a decorrer e é terminada antes do fim do processo encontrando-se assim na presença de dados censurados a esquerda e à direita (Romeu, 2005).

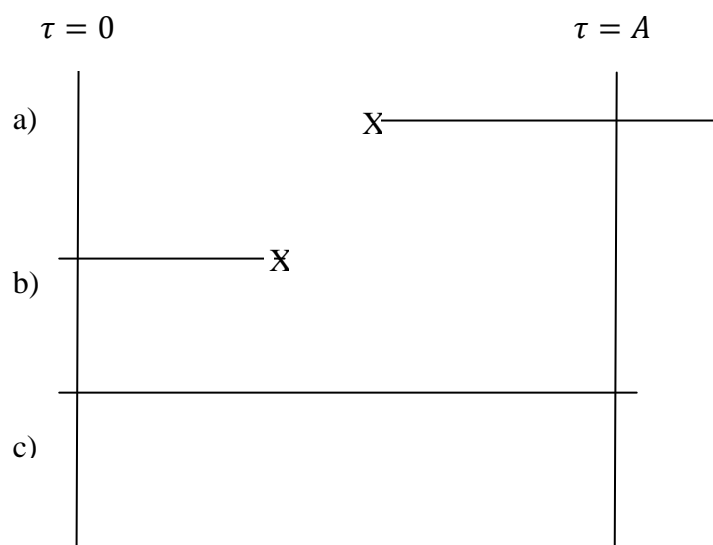


Figura 3.1 Representação dos dados censurados de Tipo I (adaptado, Romeu, 2005).

Os dados censurados de Tipo II, ocorrem quando se pré-estabelece um determinado número de observações (Romeu, 2005). Segundo Dias, 2002, p 17, um exemplo de dados censurados de Tipo II ocorre quando se pretende fazer um estudo a 100 componentes e termina-se o estudo quando, 50 destes falharem, censurando-se as restantes falhas. Este tipo de censura é muito pouco utilizado em sistemas reparáveis (Bastos e Rocha, 2006, p185).

3.2. Análise estatística das falhas

Para que se possa realizar uma análise estatística das falhas é necessário ter-se uma base de registo histórico de falhas devidamente estruturada. Uma ordem cronológica de ocorrência de falhas é essencial para se testar e estudar a evolução da tendência da taxa de falhas. Para tal, devem-se ter em conta duas variáveis cruciais: o tempo de vida do sistema no momento de falha e o tempo decorrido desde a última falha (Neri, 2010, p11). Para que a base de dados em estudo, não seja de uma dimensão indefinida, é necessário delimitar-se o ensaio por tempo ou por número de falhas (Neri, 2010, p11). Para o presente estudo a base de dados será limitada por um determinado período de tempo.

É imprescindível que se prepare a base de dados de falhas de forma muito rigorosa. Neste contexto, ganha uma grande importância o recurso a análise de Pareto para uma visualização mais pormenorizada dos sistemas sujeitos a falhas (Neri, 2010, p11).

A estimação estatística do momento em que determinada unidade ou componente experimenta a falha é na realidade um dos problemas centrais da teoria da fiabilidade (Bicho, 2010, p 59).

Indicadores de desempenho da fiabilidade

Antes de se introduzirem os vários parâmetros e distribuições estatísticas da fiabilidade é essencial que a palavra “falha” esteja devidamente definida. Só existe uma definição para “falha” que é: a não conformidade de algum critério de desempenho previamente definido (Smith, 2001, p 11).

Existem indicadores que permitem perceber a fiabilidade e a manutibilidade, a taxa de falhas (ROCOF – *Rate of Occurrence of Failure*), o tempo médio entre falhas (MTBF – *Mean Time Between Failures*), o tempo médio para reparação (MTTR – *Mean Time to Repair*) e tempo médio de funcionamento (MTTF – *Mean Time to Failure*).

Tempo médio entre falhas –MTBF

Para um determinado sistema reparável, o MTBF, corresponde ao tempo que decorre entre o fim de uma reparação e o início da reparação seguinte. O MTBF de um sistema de N componentes, é apresentado pelo estimador, $\hat{\theta}$,. Traduz-se no rácio entre o tempo acumulado desde a última falha, T , pelo número total de falhas, nf , (Smith, 2001, p 14).

$$MTBF = \hat{\theta} = \frac{T}{nf} = \frac{1}{\hat{\lambda}}$$

(3.1)

Esta equação deve ser usada com cuidado uma vez que o seu uso só deve ser feito quando a taxa de falhas, λ , é constante.

Tempo médio de funcionamento - MTTF

O tempo médio para funcionamento é determinado pelo rácio entre período de tempo total e o número de falhas, tal como o MTBF. A única diferença entre o MTBF e o MTTF é no seu uso. O MTTF é usado em sistemas/componentes não reparáveis, como por exemplo lâmpadas (Smith, 2001, p 14).

Estatística de Falhas

Considera-se T uma variável aleatória não negativa representando o tempo desde a última falha. A distribuição de probabilidade de T pode ser especificada de várias

formas, três das quais peculiarmente úteis no estudo da fiabilidade: a função fiabilidade, a função densidade de probabilidade e a função de risco (Dias, 2002,p 22)

Função de fiabilidade

A função fiabilidade é definida, para valores contínuos e discretos, como a probabilidade de T ser maior ou igual que um determinado valor t :

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad 0 < t < \infty \quad (3.1)$$

A função de distribuição cumulativa, de T , chama-se $F(t)$ e permite visualizar a probabilidade da variável ser inferior a um t previamente definido, logo (Dias, 2002,p 22):

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t f(u) du \quad (3.2)$$

Função Densidade de Probabilidade

Quando se está perante variáveis contínuas, a função densidade de probabilidade pode ser descrita pela derivada da função de distribuição cumulativa:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{\Delta t} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3.3)$$

Função de risco

A função de risco $h(t)$, também chamada de taxa de falhas, ou ROCOF – *Rate of Occurrence of Failure*, representa a taxa instantânea de morte de um sistema no instante t sabendo que sobreviveu até esse instante (Bastos e Rocha, 2006, p187). Em (dias, 2002, p22) $h(t)\Delta t$ pode ser considerado a probabilidade condicionada da falha no intervalo de t a $t + \Delta t$, dado que não avariou até t . Podendo esta ser descrita por:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.4)$$

Uma vez que $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ e $h(t)$ provêm da distribuição de T . Assim a fiabilidade $R(t)$ pode ser dada por:

$$h(t) = \frac{\frac{d}{dt}[1 - R(t)]}{R(t)} = \frac{-\frac{d}{dt}R(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t) \quad (3.5)$$

Então;

$$-\int_0^x h(t) dt = \ln R(x) \Big|_0^x \quad (3.6)$$

Como R é uma probabilidade, só pode compreender valores entre 0 e 1, deste modo é possível obter a seguinte equação:

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(u) du} = e^{-H(t)} \quad (3.7)$$

3.3. Métodos não paramétricos de estimativa da Função Fiabilidade

Técnicas não paramétricas são possíveis de se aplicarem na gestão da fiabilidade. Estas são matematicamente muito simples e por isso podem ser usadas como testes rápidos antes de uma análise mais detalhada, particularmente, quando se desconhece a distribuição de falha a que se associam (Bastos e Rocha, 2006, p186).

Na análise de dados temporais devem incluir-se, quando possível, os dados correspondentes a tempos desde a última falha censurada. A utilização de uma metodologia adequada, para trabalhar esta informação é essencial. Considerando-se então que $t_1 < t_2 < \dots < t_k$ corresponde, ao tempo observado desde a última falha numa amostra n , de uma população homogénea com uma função de fiabilidade $R(t)$. Quando se está perante dados censurados conhecidos, (t_{jl}) a função de máxima verosimilhança de $R(t)$, representada por, L é dado por:

$$L = \prod_{j=0}^k \left\{ [R(t_j) - R(t_j + \Delta t)]^{d_j} \prod_{l=1}^{m_j} R(t_{jl} + \Delta t) \right\} \quad (3.8)$$

De modo a valorizar-se ao máximo L , deve estimar-se $\hat{R}(t)$ da máxima verosimilhança. A função de Fiabilidade estimada é descontínua nos pontos onde se observam falhas. Então, considerando-se que $t_{jl} \geq t_j$, $R(t_{jl} + \Delta t)$ é maximizado fazendo $R(t_{jl} + \Delta t) = R(t_j + \Delta t)$ e $R(t_{0l}) = 1$

Dado que, $\hat{R}(t)$ é discreta, em t_j , a probabilidade de falha é dada por $h_j = \frac{f(t_j)}{R(t_j)}$, onde $R(t_j)$ representa a fiabilidade dos sistemas não falharem em, t_j . Deste modo o estimador para a função de fiabilidade pode ser dado por:

$$\hat{R}(t) = \prod_{j|t_j < t} \left(\frac{n_j - d_j}{n_j} \right) \quad (3.9)$$

Esta expressão, é também, conhecida pelo estimador de *Kaplan – Meier*. Este estimador, é enviesado e subestima a função fiabilidade quando $m_k > 0$, daí que $\hat{R}(t)$ se encontrar indefinido para valores de $t > t_{km_k}$.

Outro modo de se estimar a função fiabilidade é através de tabelas de tempo de vida, sendo este um processo bem mais antigo (Dias, 2002, pp24-27).

3.4. Sistemas reparáveis

Segundo Lindqvist (2005) um sistema reparável, *SR*, é aquele que, depois de deixar de desempenhar satisfatoriamente a função para o qual foi concebido, pode ser reparado na totalidade, retomando o desempenho inicial. Em termos de fiabilidade, os sistemas reparáveis são dos mais utilizados na indústria.

Qualquer sistema reparável pode ser considerado um conjunto de sistemas/componentes, que são reparados ou substituídos quando falham. Um sistema reparável pode também conter alguns componentes não reparáveis que são substituídos quando falham, como por exemplo componentes eléctricos, parafusos, etc (O' Connor, 1991, p 272).

Nos sistemas reparáveis, é necessário dar-se especial atenção aos tempos entre falhas, apenas partir destes valores é possível compreender o comportamento das falhas e consequentemente se existe um aumento ou diminuição da fiabilidade. Pode-se também através do estudo das falhas prever-se a necessidade de se realizarem intervenções de manutenção para manter um certo nível de fiabilidade (Marques, 2009, p24).

Tendência dos dados

Para sistemas reparáveis, quando estes falham a fiabilidade traduz-se na probabilidade da falha não ocorrer num determinado período estipulado. A situação também pode ser descrita como a taxa de falhas (ROCOF – *rate of occurrence of failure*). A taxa de falhas expressa instantaneamente a probabilidade de falha por unidade de tempo, quando várias falhas podem ocorrer num espaço de tempo contínuo. Existem três tipos de comportamento que a taxa de falhas pode tomar, decrescente, crescente ou constante. (O'Connor, 1991, p7).

Olhando para o comportamento de um sistema reparável ao longo do seu tempo de vida é possível observarem-se variações na taxa de falhas. Normalmente estas variações apresentam graficamente um aspecto de banheira, denominando-se assim curva de banheira, como mostra a figura 3.2.

A curva de banheira, segundo (Marques 2009, p25), mostra as fases da vida de um sistema reparável: fase infantil, maturidade e envelhecimento.

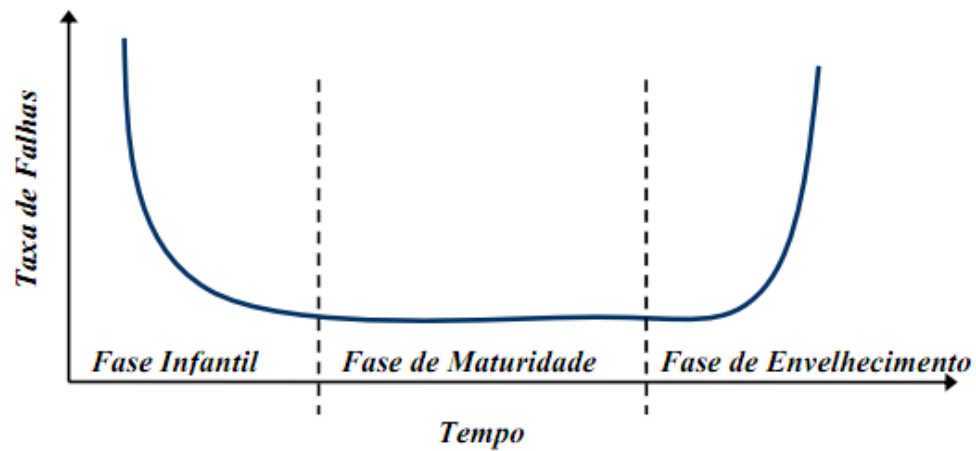


Figura 3.2 Curva de banheira (Marques, 2009, p 25).

A fase infantil, caracteriza-se por ter uma taxa de falhas decrescente por se tratar de uma altura em que se fazem os primeiros testes ao funcionamento do sistema, podendo este não estar totalmente calibrado para um óptimo funcionamento, fazendo com que as falhas ao diminuindo no decorrer do tempo.

A fase da maturidade, ocorre quando se observa uma estabilização da taxa de falhas. Verifica-se então uma taxa de falhas constante. Nesta fase as falhas ocorrem de modo inesperado, são falhas aleatórias, que estatisticamente se comportam como um Processo de Poison Homogéneo (PPH).

A fase da velhice do equipamento, comprova-se quando o sistema já apresenta um desgaste acentuado dos seus componentes, a ocorrência de falhas torna-se inevitável e apresenta uma taxa de falhas crescente. É comum também nesta fase do ciclo de vida de um sistema o custo das falhas ser mais elevado pois pode ocorrer a necessidade de se ter que reparar ou até mesmo substituir em muitos componentes.

Processos estocásticos pontuais: Processos de Poisson

Um processo estocástico, consiste num processo que ocorre aleatoriamente mas dependente do tempo. Existem dois tipos de processos estocásticos, os processos estocásticos contínuos e os processos estocásticos discretos. Dentro dos processos discretos, destacam-se para o estudo da fiabilidade, os processos pontuais que são frequentemente utilizados para a descrição de séries de acontecimentos que ocorreram aleatoriamente no tempo (Gupta, 2010, p45,).

Segundo Dias, 2002, p40, os modelos estocásticos pontuais podem apresentar a seguinte classificação:

- Processos de Poisson Homogéneos (PPH)
- Processos de Poisson não Homogéneos (PPNH)
- Processos de Poisson Ramificados (PPR)
- Processos de Renovação (PR)
- Processos Renovados Sobrepostos (PRS)

No âmbito deste estudo apenas será feita referência a dois destes processos estocásticos, os Processos de Poisson Homogéneos e os Processos de Poisson não Homogéneos.

Processo de Poisson Homogéneo – PPH

Um Processo de Poisson Homogéneo, caracteriza-se por uma sequência interminável de variáveis aleatórias positivas exponencialmente distribuídas. Um processo estocástico pontual $\{N(t), t \geq 0\}$ é um PPH se (Ascher e Feingold, 1984, p30):

- $N(t) = 0$
- $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ é aumentado de uma forma independente
- O número de ocorrências em qualquer intervalo Δt segue uma distribuição de Poisson com um valor médio de $m = \lambda_0 \times \Delta t$.

Desde modo, a probabilidade de acontecerem falhas, nf , num determinado intervalo de tempo pode ser obtida através da seguinte equação:

$$P\{N(\Delta t) = nf\} = \frac{e^{-m} m^{nf}}{nf!} \quad (3.10)$$

Relembrando que λ_0 apresenta a taxa de falhas, a probabilidade de acontecerem zero falhas pode ser descrita da seguinte forma:

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t} \quad (3.11)$$

Com esta expressão é possível determinar-se a fiabilidade de sistema caso se esteja perante um PPH (Dias, 2002, pp43-44).

Processo de Poisson não Homogéneo – PPNH

Um Processo de Poisson não Homogéneo, caracteriza-se por um processo com uma taxa de falhas que apresenta uma tendência de dependência em relação ao tempo. Esta situação significa que as falhas apresentam uma tendência de aumentarem (taxa de falhas crescente) ou por outro lado diminuïrem com o passar do tempo (taxa de falhas decrescente) (Dias e Pereira, 2009, p5).

Segundo Dias, 2002, p 41, a expressão não paramétrica mais aplicável a sistemas reparáveis é:

$$\rho_2(\tau) = \lambda^* \beta^* \tau^{\beta^*-1} \quad \lambda^*, \beta^* > 0 \quad (3.12)$$

Esta expressão foi desenvolvida por *Crow*, dando origem ao modelo de *Crow*, descrito na secção abaixo

Modelo de Crow

Em 1974, *Crow* desenvolveu e aplicou o modelo (3.13) a vários sistemas reparáveis, que passou a designar-se “Modelo de *Crow*”. Este modelo só pode ser aplicado quando

os equipamentos se comportam como um PPNH. Deste modo, pretende-se assim estimar a taxa de falhas quando esta se apresenta com tendência. Os valores λ^* e β^* , podem ser obtidos através da função de máxima verosimilhança:

$$\hat{\beta}^* = \frac{nf}{\sum_{i=1}^{nf} \ln\left(\frac{T_0}{\tau_i}\right)} \quad (3.13)$$

$$\hat{\lambda}^* = \frac{nf}{T_0^{\beta^*}} \quad (3.14)$$

O valor de λ^* refere-se ao valor do parâmetro do modelo de *Crow*. Não se deve confundir este com a taxa de falhas. Também é de salientar que β se refere ao parâmetro de forma da distribuição de *Weibull*.

Dado que este modelo só se aplica a PPNH, não é possível determinar o valor do MTBF. Por conseguinte, realiza-se o cálculo do tempo cumulativo entre falhas (CMTBF), determinado através do inverso da taxa cumulativa de falhas:

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} \quad (3.15)$$

Teste de Laplace

Um sistema encontra-se a trabalhar entre um determinado tempo em que são observadas as falhas. Coloca-se a questão se a ocorrência de falhas está a crescer, constante ou a diminuir. O Teste de Laplace dá-nos a resposta a esta questão (Gaudoin, 1992, p 525).

O Teste de Laplace é um processo estatístico simples mas muito preciso e valioso para verificar uma taxa de falhas se apresenta com tendência (Bai *et al*, 2008, p 366).

Considerando um pressuposto de que as falhas são i.i.d, e ocorrem segundo um PPH:

Teste:

H_0 : Taxa de falhas constante (PPH)

H_1 : Taxa de falhas não constante (PPNH)

Admitindo que a ordem de falhas i ocorre no momento τ_i e o numero de falhas nf foram obtidos no período de tempo T a estatística do teste de Laplace é dada por:

$$z_0 = \sqrt{12 \times nf} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{nf} \tau_i}{nf \times T} - 0,5 \right] \quad (3.16)$$

No pressuposto, de um Processo de Poisson, a amostra segue uma estatística de uma distribuição normal reduzida, com média zero e variância unitária. A hipótese nula H_0 , ou seja a hipótese de ser um PPH, será rejeitada se $|z_0|$ for superior a um valor crítico, consoante o nível de significância.

Na circunstância de z_0 se encontrar fora do intervalo de confiança, os valores negativos denunciam a presença de um PPNH com taxa de falhas decrescente. Caso o valor seja positivo, deparamo-nos com um PNH com taxa de falhas crescente.

3.5. Distribuição de *Weibull*

W. Weibull, em 1939 desenvolveu uma distribuição de probabilidade para conseguir descrever a resistência dos materiais à ruptura. Esta distribuição, acabou por adquirir o seu nome e desde então muitos estatísticos mostraram que a distribuição de *Weibull* pode também ser usada para descrever os tempos de falhas de vários sistemas (Feldman e Flores, C., 2010, p 19 e Dhilan, 2002).

A Distribuição de *Weibull* é uma distribuição muito usada para aplicações práticas pois é muito versátil quando se escolhem apropriadamente os seus parâmetros. É uma distribuição de dois parâmetros específicos, um deles, η , o parâmetro de escala e o outro, β , parâmetro de forma. Tem também um terceiro parâmetro, t , parâmetro de localização (vida mínima) (Gnedenko e Ushakov, 1995, p19 e Rinne, 2009, p30). No anexo A, é possível observar-se a representação gráfica da função probabilidade da distribuição de *Weibull*.

A distribuição de *Weibull* é segundo (McPerson, 2010, p 67) uma distribuição do tipo *weakest-link*, pois é uma distribuição que é determinada pelo deterioramento do componente mais degradado, daí que seja muito popular no estudo da fiabilidade de sistemas. Esta distribuição é, no âmbito do estudo de fiabilidade, utilizada para modelar o tempo de vida dos componentes (Baptista *et al*, 2011)

Assim para o presente estudo, pretende-se através da distribuição de *Weibull* aplicar-se um modelo paramétrico de modo a prever-se periodicidade de intervenção de forma a garantir uma taxa de falhas constante, conseguindo-se assim um aumento da fiabilidade.

Com a obtenção dos parâmetros da distribuição é possível calcularem-se os tempos de aplicação de manutenção preventiva consoante a fiabilidade pretendida (Tsarouhas, 2011, p1). Deste modo, a função de distribuição de fiabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}}{\eta^{\beta}} \quad (3.17)$$

Onde, $t \geq 0, \beta > 0, \eta > 0$

A Função de distribuição de fiabilidade é dada por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.18)$$

A Função fiabilidade, por sua vez é definida por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.19)$$

A função de risco da distribuição de *Weibull*, é conseguida através da razão entre a função densidade de probabilidade e a função de fiabilidade:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{\beta t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}}{\eta^\beta}}{e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}} = \frac{\beta \times t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \quad (3.20)$$

Comprova-se assim que a função de risco aumenta quando $\beta > 1$ e diminui para valores compreendidos entre $0 < \beta < 1$

A média da distribuição que corresponde a tempo médio entre falhas pode ser obtido através de

$$E(t) = t_0 + \eta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3.21)$$

A variância por sua vez é conseguida através da seguinte expressão:

$$V(t) = \eta^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\} \quad (3.22)$$

Parte II

Capítulo 4. Processo de Corte de Aço

4.1 Apresentação do Grupo

4.2 A Bamesa – SLEM

4.3 Processo de corte de aço e Produtos da Bamesa – SLEM

4.1. Apresentação do Grupo

A SLEM – Sociedade Luso Espanhola de Metais, pertence ao grupo multinacional Bamesa, sendo assim denominada, Bamesa - SLEM.

A BAMESA é uma organização de Centros de Serviços de aço com presença internacional, especializados no corte de produtos siderúrgicos laminados, que colocam à disposição dos seus clientes uma ampla gama de aços de diversas qualidades, assim como o corte à medida, de acordo com as necessidades de cada um deles. A BAMESA conta com a confiança das mais importantes empresas de sectores como a indústria automóvel, linha branca, móveis metálicos e construção (Bamesa, 2011).

A BAMESA foi fundada em 1962 com a constituição da Barcelonesa de Metales, S.A.. Com o decorrer dos anos, distintos Centros de Serviço de Aço foram inaugurados com o objectivo de acompanhar os mercados e de modo a responder *just-in-time* às solicitações dos clientes. Deste modo foram criados vários centros de corte de aço com presença em diversos países, com maior incidência na Europa, tal como mostra o diagrama 4.1 (Bamesa, 2011).

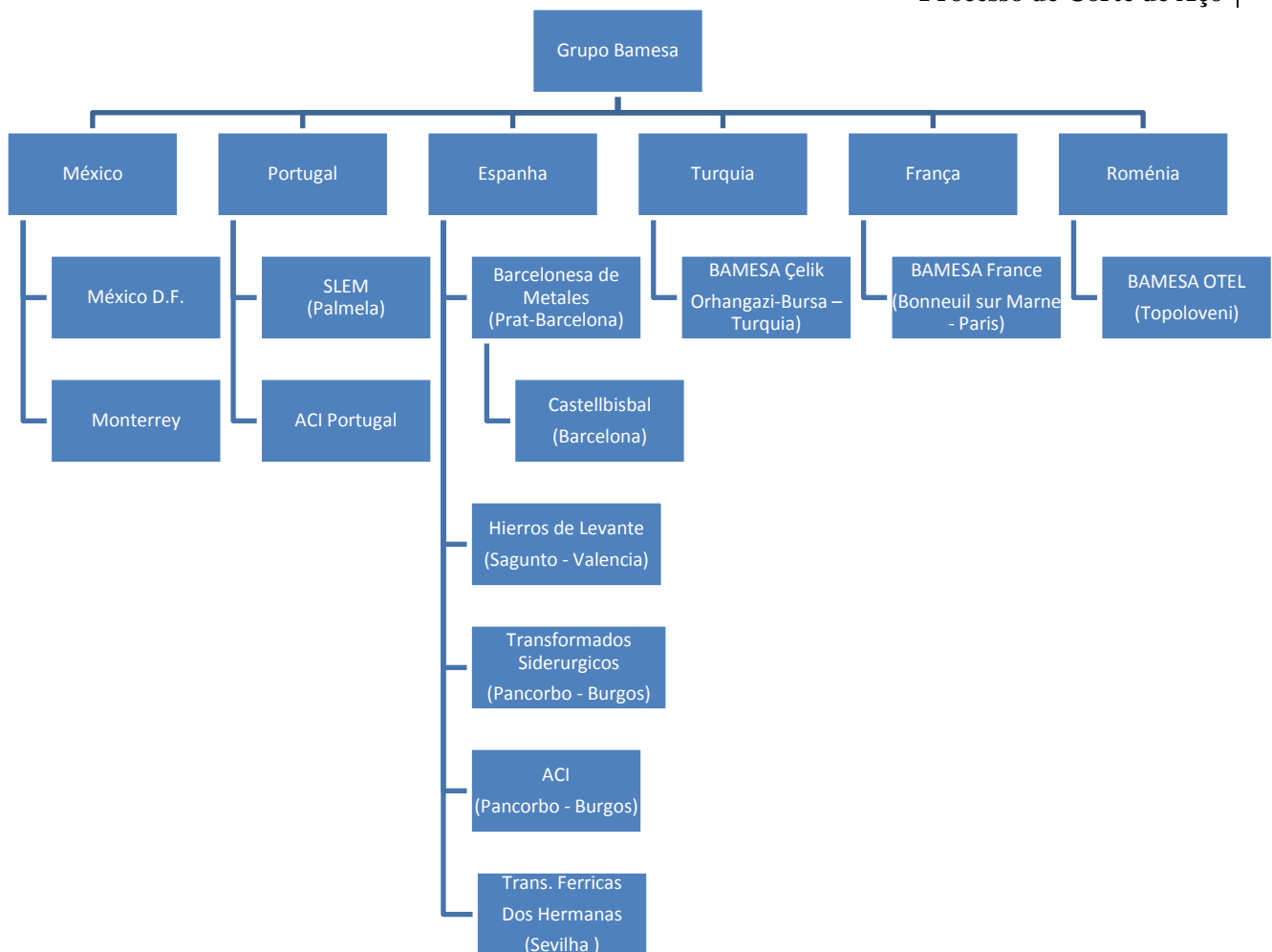


Figura 4.1 Organograma do Grupo Bamesa (Adaptado, Bamesa, 2011).

A Bamesa está em contínua modificação, ampliação e renovação das suas instalações, equipamentos de processo, laboratórios, sistemas informáticos, meios de transporte e distribuição, mas sempre com o mesmo espírito de oferecer um serviço personalizado para responder em todo o momento às exigências dos seus clientes (Bamesa, 2011).

A Bamesa, oferece assim, uma ampla gama de produtos de alta qualidade, os quais são referidos abaixo:

- Laminado a quente
- Laminado a quente decapado
- Laminado a frio
- Chapa grossa.
- Laminados a frio revestidos:

- Galvanizados
- Aluminizado
- Aluzinco
- Eletrozincado
- Pré – Lacado

4.2. A Bamesa - SLEM

A Bamesa - SLEM, é uma empresa que responde às necessidades do mercado, com uma gama completa de produtos em chapa de aço ao carbono à medida das necessidades dos clientes. Pretende ainda conhecer as expectativas dos mercados, dos clientes actuais e futuros de modo a conseguir satisfazer com rigor estas necessidades.



Figura 4.2 Instalações da Bamesa – SLEM (Bamesa, 2011).

A estrutura organizacional da Bamesa - SLEM é composta por seis departamentos: Técnico, Financeiro, Operações, Comercial, Produção/Logística e Qualidade. Estes departamentos encontram-se devidamente esquematizados no diagrama 4.3 (Bamesa, 2011):

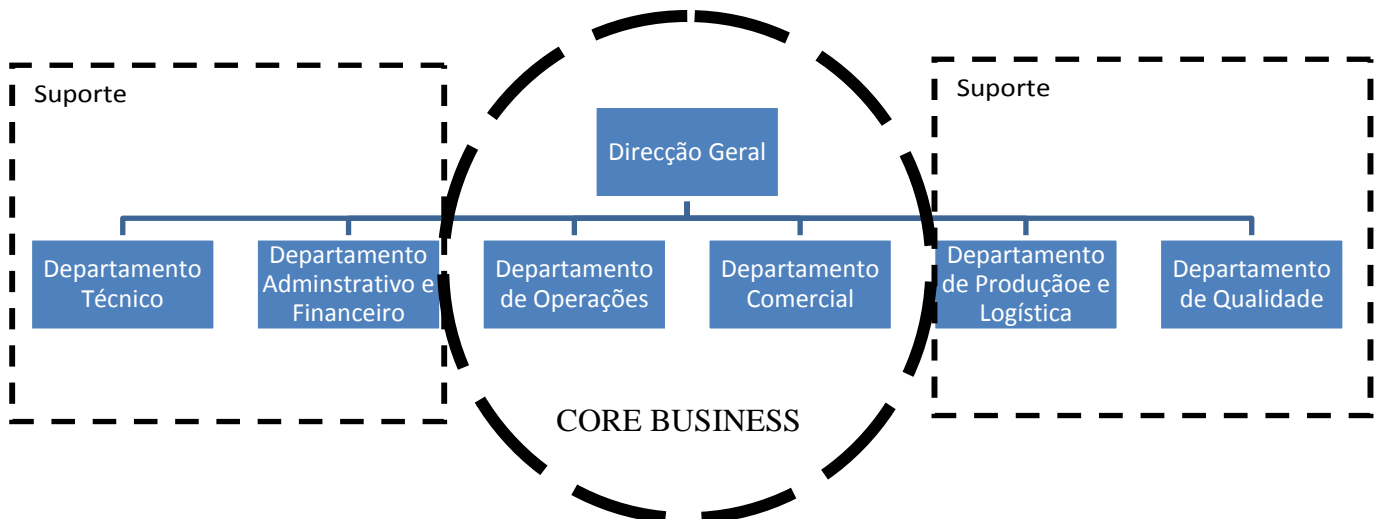


Figura 4.3 Estrutura organizacional da Bamesa – SLEM (Bamesa, 2011).

Esta organização trabalha neste momento para os mais variados mercados e sectores, tais como:

- Indústria Automóvel
- Electrodomésticos
- Móveis e estantes metálicas
- Acessórios de construção civil
- Embalagem
- Armazenistas

4.3. Processo de corte de aço e Produtos da Bamesa - SLEM

A Bamesa - SLEM, tem como objectivo a produção de rolos e balotes provenientes de bobinas de aço oriundas de siderurgias, tanto nacionais como internacionais. Estes rolos e balotes podem ser apresentados com comprimentos (para o caso dos balotes), largura e

espessuras distintas. Na Bamesa - SLEM é possível obter uma grande amplitude de espessuras, larguras e comprimentos do produto final graças à ampla maquinaria de corte disponível nesta unidade de produção. A título ilustrativo, as figuras 4.4, 4.5 e 4.6 mostram os produtos finais que a Bamesa - SLEM comercializa (Bamesa, 2011).

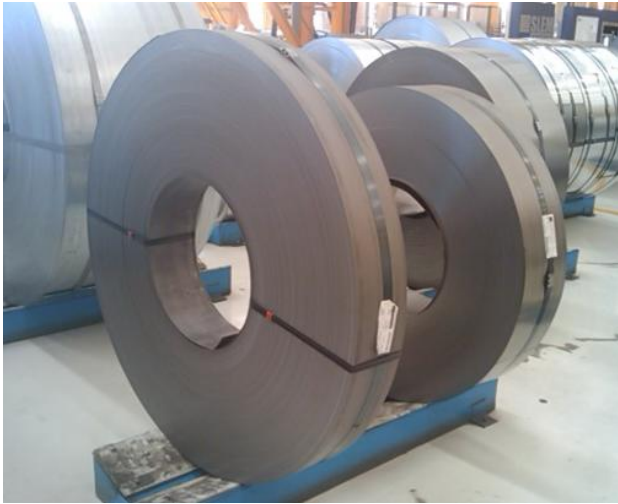


Figura 4.5 Exemplo de Rolos ao Alto (Bamesa, 2011).

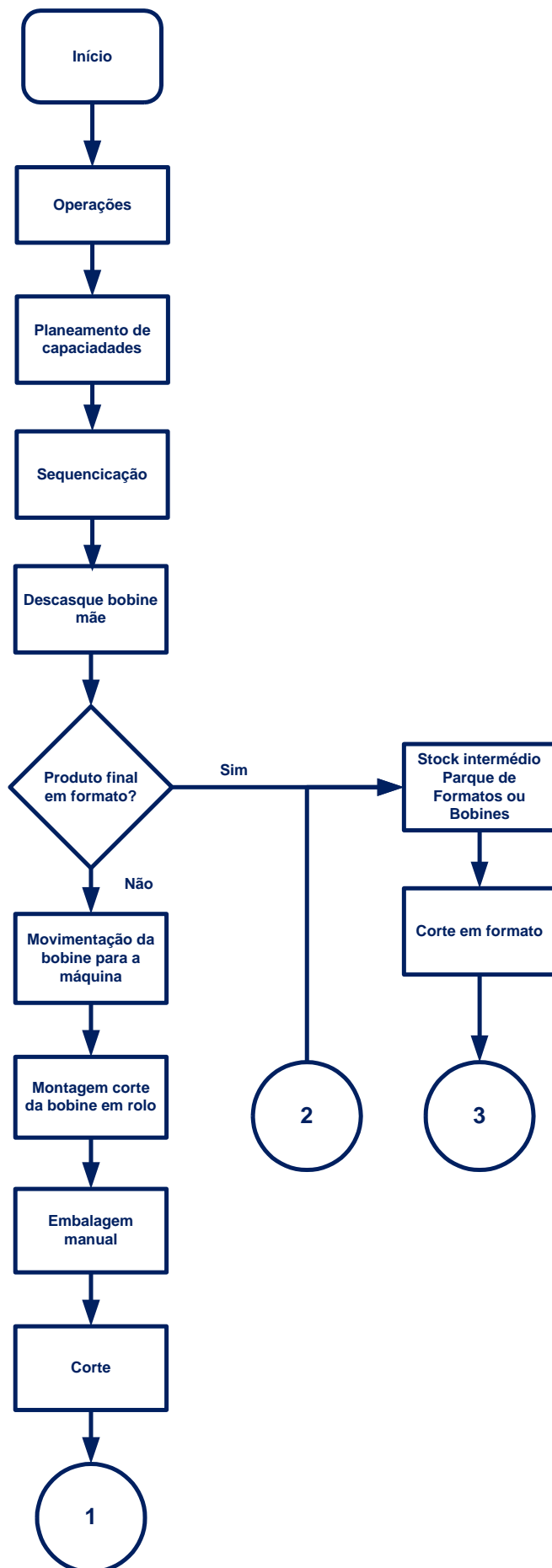


Figura 4.4 Exemplo de um Balote (Bamesa, 2011).



Figura 4.6 Exemplo de Rolos Deitados (Bamesa, 2011).

O processo de produção da Bamesa - SLEM, desenrola-se através de vários procedimentos que se encontram representados no fluxograma 4.7, sendo deste modo possível perceber-se resumidamente o processo de produção desta organização.



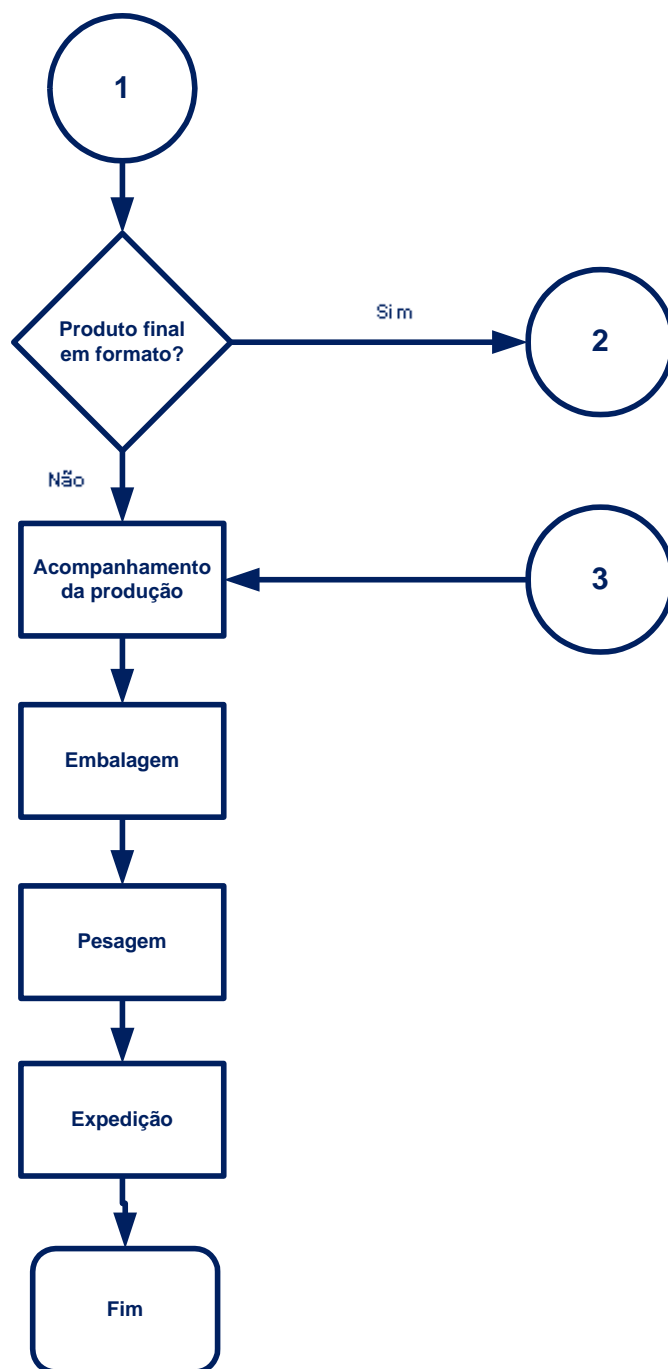


Figura 4.7 Fluxograma de produção da BAMESA – SLEM (Bamesa, 2011).

4.3.1. Corte de aço – Sistema em análise

O processo de corte de aço, consiste em cortar bobines provenientes de siderurgias, por via terrestre ou marítima, em rolos ou formatos de dimensões comerciais ou dimensões especificadas pelo cliente.

Para responder a todas as solicitações e pedidos, a Bamesa - SLEM possui quatro linhas de corte de aço longitudinal e quatro linhas de corte transversal com as características técnicas indicadas nas tabelas 4.1 e 4.2:

Tabela 4.1 Especificações Técnicas das Linhas de corte Transversal (Bamesa, 2011).

LINHA DE CORTE TRANSVERSAL	CT10	CT16	CT15	CT20
Espessura corte (mm)	0,18 - 1,7	0,35 - 2,5	0,6 - 3	2 - 10
Comprimento de corte (mm)	320 - 3500	395- 6000	300 - 6000	400 - 12000
Tolerância do comprimento +/- (mm)	0,5	1	0,3	2
Largura da banda (mm)	150 - 1070	250 - 1550	250 - 1510	300 - 2000
Tolerância em Largura +/- (mm)	-	-	-	-
Tolerância em Esquadria +/- (mm)	0,5	0,5	0,5	1
Peso máximo bobine entrada (Tn)	17	15	18	30
Diâmetro máximo entrada (mm)	2000	1700	1800	2000
Diâmetro máximo saída (mm)	-	-	-	-
Diâmetro interno bobines entrada (mm)	400 - 500	500 - 600	500 - 700	500 - 750
Tipos de chapa a processar	Todas excepto negra	Todas excepto negra	Todas	Todas
Velocidade Corte (m/min)	40 - 75	80	40	32

Tabela 4.2 Especificações Técnicas das Linhas de Corte Longitudinal (Bamesa, 2011).

LINHA DE CORTE LOGITUDINAL	CL08	CL04	CL03	CL50
Espessura corte (mm)	1,5 - 8	0,35 - 4	0,35 - 2,5	0,5 - 5
Comprimento de corte (mm)	-	-	-	-
Tolerância do comprimento +/- (mm)	-	-	-	-
Largura da banda (mm)	32 - 1550	20 - 1600	32 - 2020	12 - 550
Tolerância em Largura +/- (mm)	0,2	0,2	0,1	0,2
Tolerância em Esquadria +/- (mm)	-	-	-	-
Peso máximo bobine entrada (Tn)	28	22,5	30	6
Diâmetro máximo entrada (mm)	1800	1750	2000	1650
Diâmetro máximo saída (mm)	1800	1750	1900	1500
Diâmetro interno bobines entrada (mm)	500 - 800	500 - 700	500 - 600	500 - 600
Tipos de chapa a processar	Todas	Todas	Todas excepto negra	Todas
Velocidade Corte (m/min)	50 - 100	200	255	100

A linha CL05 apresentada na tabela 4.2 embora seja de corte longitudinal, tem características físicas e mecânicas diferentes das outras linhas. Por este facto esta não foi considerada no presente estudo.

Descrição do funcionamento de uma linha de corte longitudinal

Para a concretização desta dissertação foi realizado um estudo sobre as linhas de corte longitudinal desta organização. A escolha destas linhas, recaiu sobre o facto de serem estas as que mais horas de paragens apresentaram no período temporal considerado.

A Bamesa - SLEM possui quatro unidades de corte longitudinal, todas elas distintas no que toca a fabricante, especificações técnicas assim como dimensões. No que diz respeito ao decorrer do processo de corte, todas estas possuem as mesmas partes mecânicas essenciais ao processo de corte.

Assim deste modo destacam-se as seguintes partes mecânicas principais:

- Carro de entrada
- Desenrolador
- Braço do desenrolador
- Mesa de entrada
- Aplanadora
- Guilhotina de despunte
- Guilhotina circular
- Guias-bandas
- Prensa
- Enrolador
- Carro de saída

A modo ilustrativo, as figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 mostram as peças mecânicas de uma das linhas de corte longitudinal.



Figura 4.8 Linha de Corte Longitudinal (Parte I) (Bamesa, 2011).



Figura 4.9 Linha de Corte Longitudinal (Parte II) (Bamesa, 2011).



Figura 4.10 Guilhotina Circular (Bamesa, 2011).

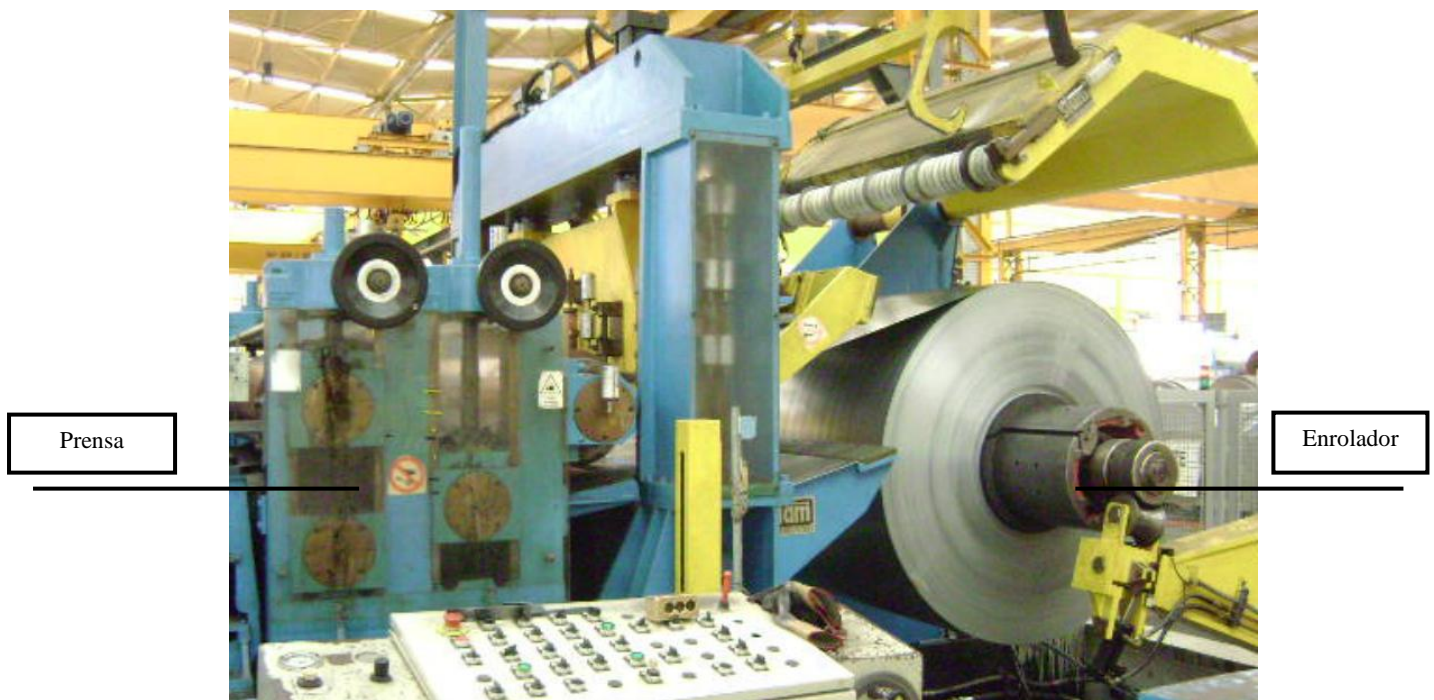


Figura 4.11 Linha de Corte Longitudinal (Parte III) (Bamesa, 2011).

Mostradas as partes mecânicas da máquina, podemos descrever resumidamente como se desenvolve o processo de corte de uma bobine de aço.

Primeiramente é colocada a bobine no desenrolador, seguidamente baixa-se o braço do desenrolador que permite que a chapa não se solte e que auxilia a entrada desta na aplanadora, juntamente com a mesa de entrada.

Colocada a chapa na aplanadora, procede-se ao corte do despunte¹. Seguidamente a chapa é encaminhada para a zona de corte (guilhotina circular) onde depois de cortada passa para os guias-bandas que auxiliam a centragem do corte. A chapa segue para o tensionador que auxilia o enrolador no processo de enrolamento da chapa sem tensões superficiais, de modo a manter as laterais do rolo devidamente planas.

Concluindo-se o corte, retiram-se os rolos com o auxílio de um carro onde é efectuado manualmente a cintagem dos novos rolos.

¹ Designa-se por despunte, ao aço cortado no início e fim da bobine que de forma geral apresenta não conformidades devido vários factores, principalmente ao manuseamento e armazenagem, que se retira antes de iniciar o corte para entregar ao cliente

Descrição do funcionamento de uma célula de corte transversal

Como já foi dito a BAMESA - SLEM possui quatro unidades de corte transversal, cada uma com as suas características técnicas. Para além de características técnicas diferentes, os fabricantes e modelos também são distintos, apenas o decorrer do processo de corte possui características semelhantes. Sendo assim é possível fazer uma descrição do processo de corte que englobe as quatro linhas de corte.

A diferença entre as máquinas de corte transversal e as de corte longitudinal destaca-se a nível da guilhotina circular na máquina de corte transversal, e tradicional na máquina de corte longitudinal. Encontra-se ainda diferenças a nível do enrolador, presente na máquina de corte longitudinal, onde ao invés, na máquina de corte transversal existe uma mesa de entrada onde um tapete rolante forma os balotes de chapa para depois serem embalados. A figura 4.12 mostra uma das máquinas de corte transversal.



Figura 4.12 Linha de Corte Transversal (Bamesa, 2011).

Capítulo 5. Análise Estatística do Sistema em Estudo

5.1 Escolha do Sistema Reparável

Para a realização do presente estudo, escolheu-se a célula de corte longitudinal que mais tempo, em horas, de paragem apresentou no ano de 2010. Desta forma realizou-se dois estudos ao sistema.

Primeiramente efectuou-se uma análise à eficácia da linha de modo a identificar as causas associadas às paragens.

Numa segunda fase do estudo, procedeu-se ao estudo das falhas ocorridas num período de dois anos, entre 2009 e 2010, de modo a realizar-se um plano de manutenção preventiva com o objectivo de se atingir uma fiabilidade de 80%. Uma vez que a Bamesa – SLEM também possui mais duas unidades de corte longitudinal com características técnicas semelhantes, apresentar-se-á também um plano de manutenção preventiva para uma fiabilidade de 80%, para as mesmas.

5.1. Escolha do Sistema Reparável

O motivo de se ter optado por estudar linhas de corte longitudinal deveu-se ao facto de estas apresentarem taxas de ocupação muito grandes comparativamente com as de corte transversal.

Assim, para o ano de 2010 as horas de paragem de cada máquina podem ser apresentadas na tabela 5.1

Tabela 5.1 Horas de Paragens das Linhas de Produção.

Linhas	Horas de paragem (2010)
CL03	59
CL04	48
CL08	33

Como é possível ver a CL03 foi a linha que mais paragens apresentou. Assim, deste modo será sobre esta que se realizará um estudo acerca da sua eficácia. De notar que as paragens englobam as intervenções de manutenção, qualidade, produção, programação e formação.

Para o estudo da eficácia estabeleceu-se para esta linha um valor ideal executável de produtividade a rondar as 25ton/h, valor que nunca foi atingido no período contemplado neste estudo.

Assim de modo a confrontar as toneladas produzidas ideais com as que tecnicamente se conseguiram, construiu-se a figura 5.1 em função das horas de serviço. No anexo B, é

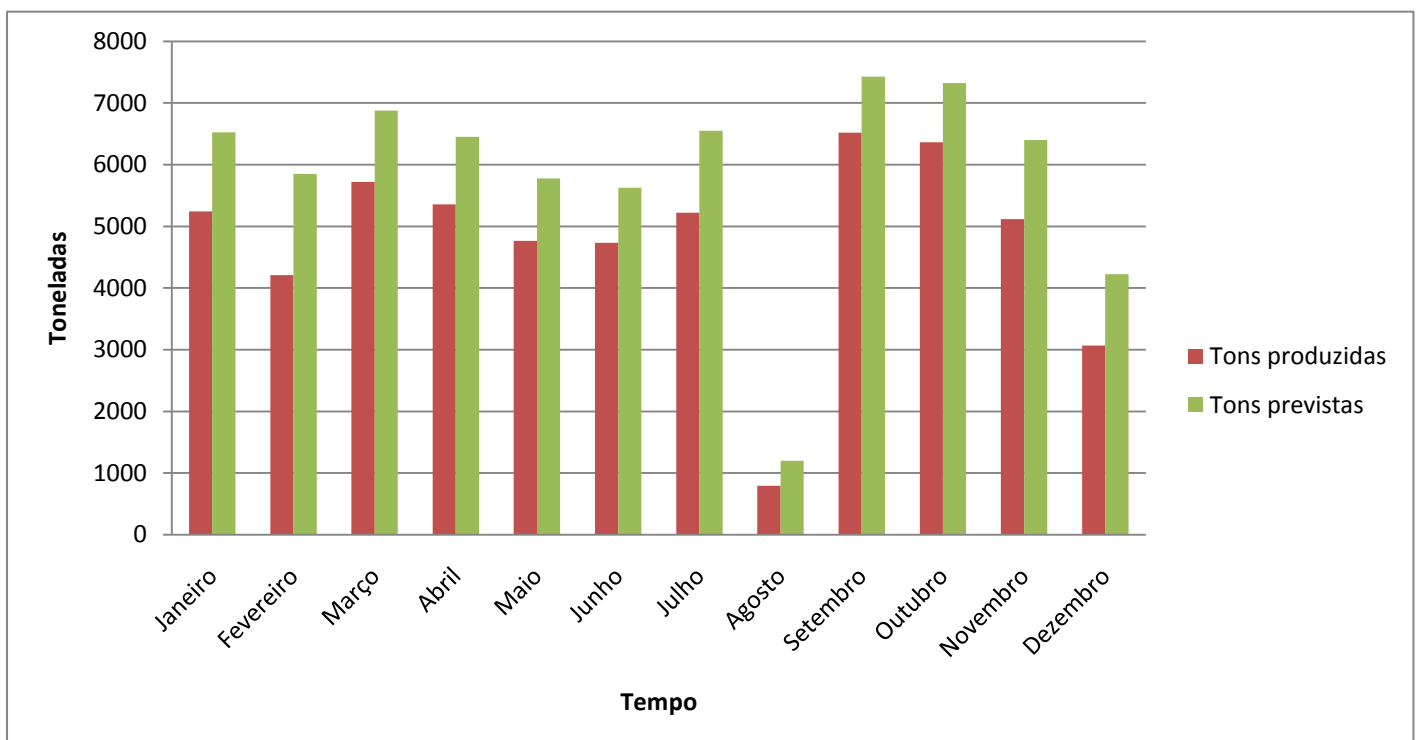


Figura 5.1 Toneladas produzidas vs. Toneladas Previstas.

Analisando o gráfico 5.1 observa-se que em nenhum mês do ano se atingiu a produtividade objectivo, devendo-se esta situação às paragens que a máquina sofre ao longo do tempo de serviço.

Perante este valores verifica-se que a linha apresenta uma eficácia de 81%. Realizando-se os respectivos cálculos observa-se que os 19% de desperdício de produtividade representariam cerca de 13000 toneladas de aço (a um ritmo de produção ideal). No anexo B é possível visualizar-se os dados recolhidos para a obtenção dos valores acima referidos.

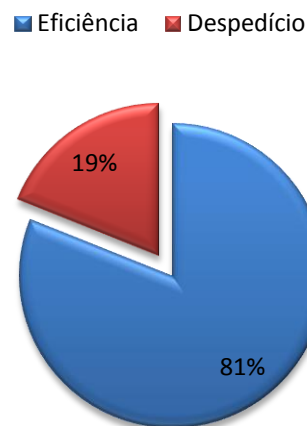


Figura 5.2 Eficiência da Linha de Produção CL03.

Efectuou-se então uma análise às paragens que provocaram o desperdício de material não produzido, no valor de 19%. Como já foi referido, as paragens que ocorreram deveram-se a paragens pela manutenção, qualidade, programação, produção e formação.

De modo a ver o comportamento das paragens ao longo do tempo realizou-se um teste de *Laplace*. Assim para as paragens desta linha durante o ano de 2010 obtiveram-se os seguintes dados para o cálculo da estatística de teste:

Tabela 5.2 Teste de Laplace para as paragens de produção da Linha CL03.

CL03			
$\sum \tau_i$	63940	Z_0	-0,06
Duração do ensaio (dias)	359	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	357	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Perante estes factos, o valor $Z_0 = -0,06 \notin \{-1,65; 1,65\}$, pelo que não se rejeita a hipótese nula H_0 : Taxa de ocorrências constante (PPH), para um intervalo de confiança de 90%.

Conclui-se que se está perante uma taxa de ocorrência constante. Ou seja, os tempos entre ocorrências não revelam uma tendência de crescimento ou decréscimo.

Uma vez que a taxa de ocorrências é constante, é possível determinar-se o MTBO (*Mean Time Between Occurrence*), que neste caso é de 8 horas.

Como complemento do teste de Laplace, deve-se também apresentar a representação gráfica da ocorrência de falhas ao longo do tempo.

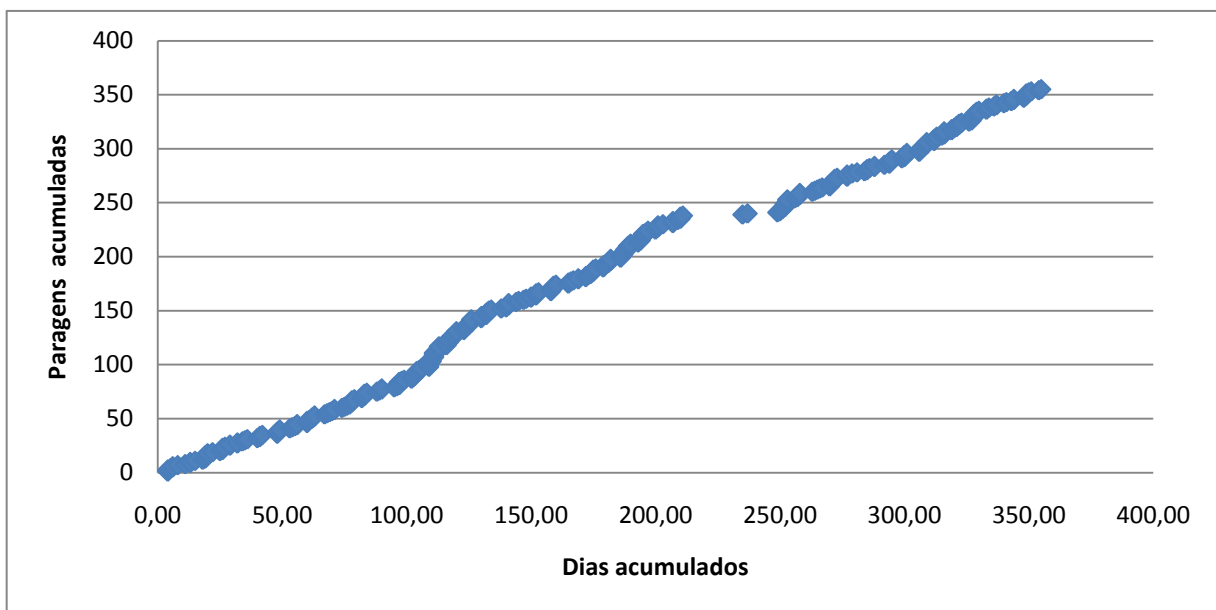


Figura 5.3 Representação gráfica do Teste de Laplace para as Paragens da Linha CL03.

Uma vez que já se percebeu que as paragens de produção, estatisticamente, ocorrem ao longo do tempo de um modo constante, vamos agora ver que tipos de ocorrências contribuem mais para a perda de 19% de eficácia.

Tabela 5.3 Percentagem de tempo de paragem dos vários segmentos.

Segmento	Tempo de Paragem
Manutenção	33%
Produção	15%
Programação	8%
Formação	2%
Qualidade	42%

Os 19% de perda da eficiência da linha, que correspondem ao tempo de paragens ocorridas em 2010, podem distribuir-se do seguinte modo nos diversos tipos de paragens:

Percentagem de tempo de paragem

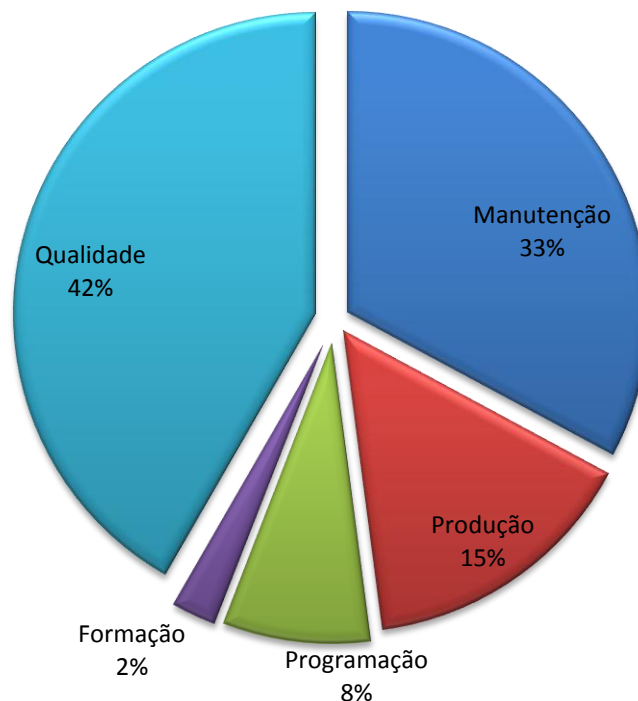


Figura 5.4 Desperdiço de tempo em função de cada factor.

Como é possível constatar, a Manutenção e a Qualidade representam cerca de 75% de todas as paragens de produção desta linha de produção.

Tendo em conta que o presente estudo tem como foco a área da gestão da manutenção, incidir-se-á apenas num estudo em que se consiga traduzir numa redução da percentagem de desperdício de tempo oriunda das intervenções de manutenção, deixando a percentagem causada pela Qualidade para trabalhos futuros.

Deste modo, se fosse possível eliminar as paragens causadas pela manutenção, seria possível obter-se um aumento de 6% na produtividade global da linha, traduzindo-se assim num aumento de cerca de 4000 toneladas por ano.

Capítulo 6. Realização de um Plano de Manutenção Preventiva

6.1 Análise das falhas ocorridas

6.2 Elaboração dos Planos de Manutenção Preventiva

No decorrer da recolha de dados para a realização desta dissertação notou-se também que não era só na linha de corte CL03 que ocorriam muitas falhas, verificou-se também que as falhas críticas eram, em geral, coincidentes para os mesmos subsistemas nas outras linhas de corte longitudinal. Assim, deste modo definiu-se que se realizaria um plano de manutenção preventiva para cada uma das três linhas de corte.

Um plano de manutenção preventiva pressupõe um conhecimento prévio das características e funcionamento do sistema em causa. Assim e com base nos registos históricos, do período compreendido entre 1 de Janeiro de 2009 e 31 de Dezembro de 2010, das falhas ocorridas nas linhas de corte longitudinal, procedeu-se à sua análise estatística de modo a prever até quando estes sistemas e subsistemas garantem uma fiabilidade a rondar os 80%.

Em primeiro lugar realizou-se um *Teste de Laplace* às falhas ocorridas em cada uma das máquinas de modo a perceber-se se estas possuem uma determinada tendência, de modo a que seja mais fácil a interpretação estatística das mesmas.

6.1. Análise das falhas ocorridas

O número de avarias de um sistema é o factor que determina a função de risco desse mesmo sistema, e para tal é necessário estudar-se os componentes ou subsistemas que contribuem para o aumento da função de risco, com o intuito de perceber quando o fim do tempo de vida se aproxima para se poder intervir por antecipação, não comprometendo a fiabilidade do sistema geral.

Realizou-se então uma análise estatística às falhas para cada uma das linhas de corte longitudinal:

Linha de produção CL03

Esta linha apresentou durante o período temporal em estudo um total de 123 falhas, sendo estas distribuídas pelos seguintes subsistemas:

- Armários eléctricos
- Carro de entrada
- Carro de descarga
- Carro evacuação de despuntes
- Desenrolador
- Enrolador
- Guilhotina circular
- Guilhotina de despuntes
- Mesa de passagem
- Prensa de feltros
- Rolo deflector
- Rolos endireitadores
- Segurança

Realizando-se um *Teste de Laplace* a esta linha de produção consegue-se perceber o comportamento que estas falhas tomam ao longo do tempo:

Tabela 6.1 Teste de Laplace às falhas da CL03.

CL03			
$\sum \tau_i$	48749	Z_0	1,94
Duração do ensaio (dias)	720	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	123	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Com o valor $Z_0 = 1,94$, fora do intervalo de $Z \{-1,65 : 1,65\}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 : Taxa de falhas constante (PPH), para um intervalo de confiança de 90%.

Verifica-se que se está perante uma taxa de falhas crescente, ou seja, os tempos entre falhas revelam tendência de decréscimo com o passar do tempo.

Como complemento do *Teste de Laplace*, deve-se também mostrar a representação gráfica da ocorrência de falhas ao longo do tempo onde se observa a tendência crescente da taxa de falhas.

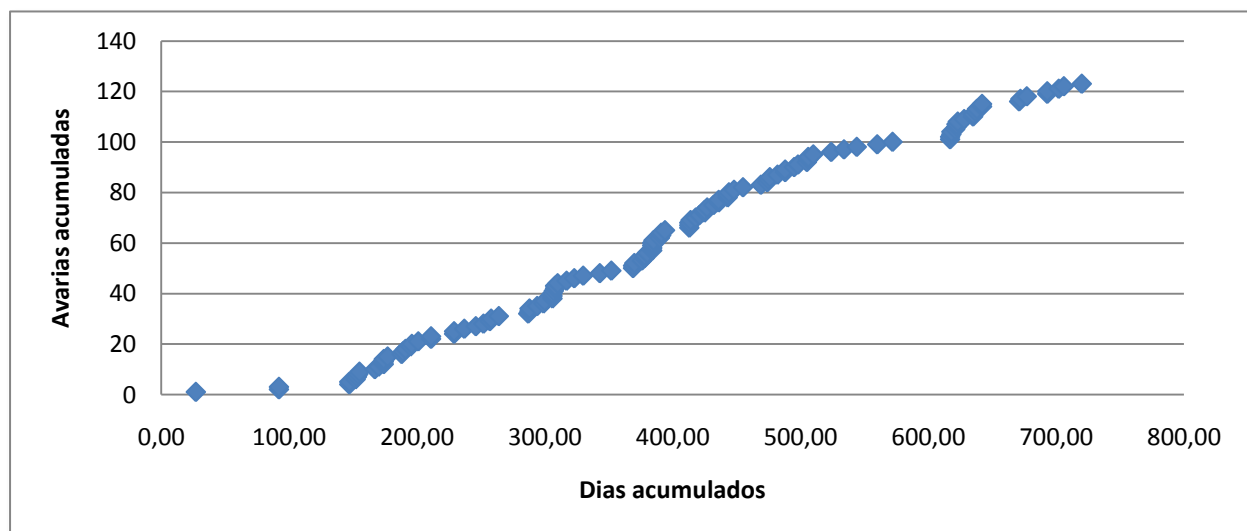


Figura 6.1 Distribuição das falhas ao longo do ano de 2009 e 2010 da CL03.

Uma vez que a taxa de falhas é crescente, recorre-se ao modelo de *Crow*. Este modelo permite, como foi referido no capítulo 3.4.5 a estimação não paramétrica da Taxa de

Falhas Crescente (ROCOF). Pela observação do gráfico abaixo verifica-se a tendência de crescimento das falhas que esta linha de corte apresenta.

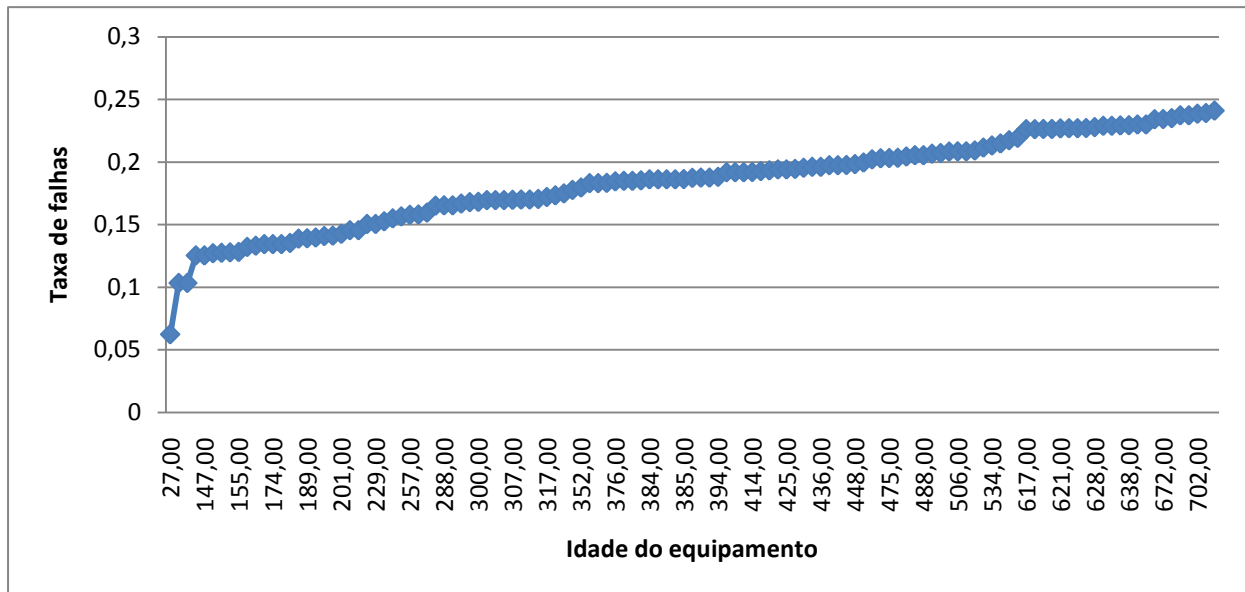


Figura 6.2 Taxa de falhas da CL03.

Assim deste modo é essencial que se actue nesta linha de produção de modo a que a taxa de falhas se torne constante e com um MTBF que satisfaça os requisitos propostos para que se consiga a fiabilidade pretendida para esta unidade da produção.

Linha de Produção CL04

Esta linha de produção nos últimos dois anos (2009 e 2010) somou um total de 151 paragens causadas por avarias e consequente intervenção da manutenção. Estas falhas distribuíram-se sobre os seguintes subsistemas:

- Armários Eléctricos
- Carro de descarga
- Carro de entrada
- Desenrolador
- Enrolador

- Enrolador de refilado
- Guilhotina Circular
- Guilhotina de despuntes
- Mesa de passagem
- Painéis de comando
- Prensa de feltros
- Refrigeração
- Segurança
- Sistema Hidráulico

Para se entender o comportamento destas falhas ao longo do tempo realizou-se o respectivo *Teste de Laplace* de modo a perceber a evolução das falhas desta linha de montagem, assim:

Tabela 6.2 Teste de Laplace às falhas da CL04.

CL04			
$\sum \tau_i$	47660	Z_0	-2,33
Duração do ensaio (dias)	709	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	151	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Com o valor $Z_0 = -2,33$ fora de $Z \{-1,65 : 1,65\}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 : Taxa de falhas constante (PPH), para um intervalo de confiança de 90%.

Observa-se que se está diante uma taxa de falhas decrescente. Ou seja, os tempos entre falhas revelam tendência de decréscimo ao longo do tempo. Uma vez que estamos perante um PPNH, recorre-se ao modelo de *Crow* para se determinar o tempo cumulativo entre falhas (CMTBF), que para esta linha é de 5 dias.

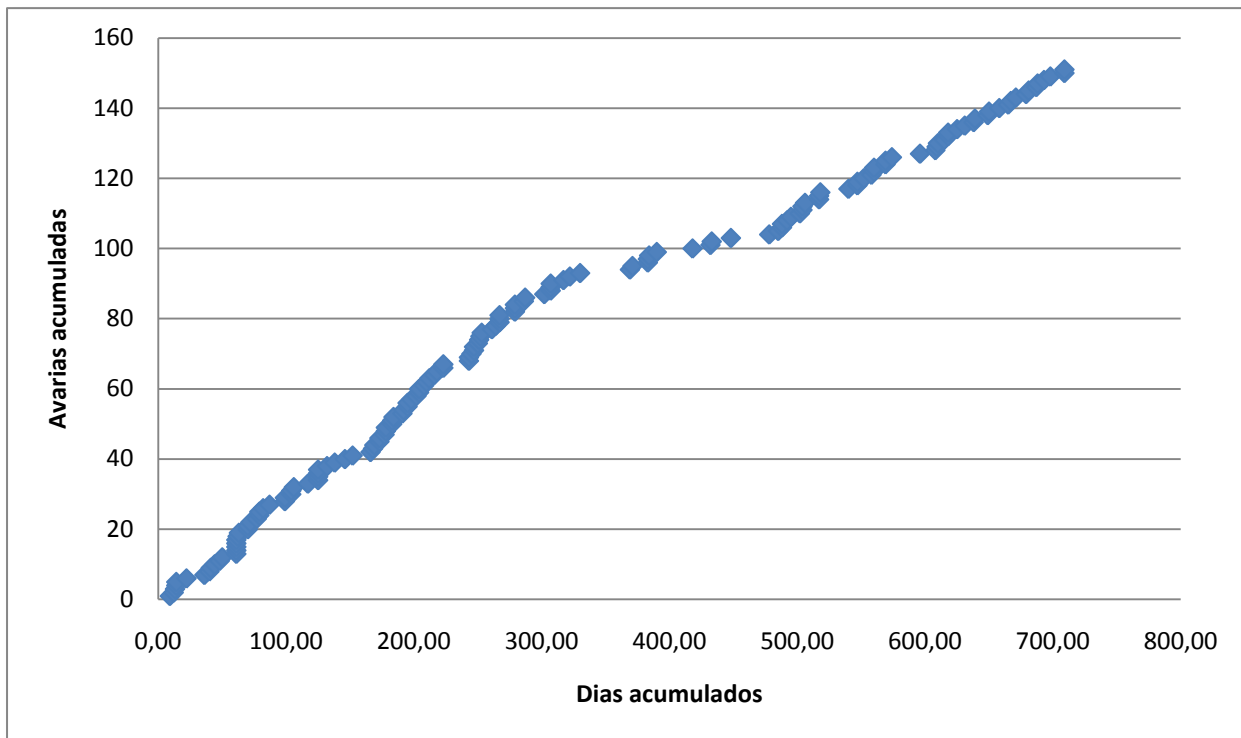


Figura 6.3 Distribuição das falhas ao longo do ano de 2009 e 2010 da CL04.

O facto de a linha de produção apresentar globalmente um decréscimo do tempo entre falhas, não significa que a fiabilidade esteja efectivamente a crescer.

Neste caso particular, para se justificar a existência de uma taxa de falhas decrescente, pode-se dizer que a máquina está a ter um comportamento segundo uma curva de banheira, ainda que em termos práticos a fase decrescente não corresponda exactamente à fase infantil do equipamento, tendo em consideração a idade do mesmo. No entanto, este decréscimo das falhas pode ser resultado de alguma melhoria geral efectuada no equipamento, ou até mesmo devido a revisão geral do equipamento. Um sistema reparável pode ser plenamente restaurado após a perda de desempenho em algumas das suas funções, sendo que após a reparação se supõe que o sistema retome um nível de desempenho como se a falha não tivesse ocorrido.

Olhado em particular para esta linha de produção confirmou-se nos registos históricos de intervenções de manutenção que foram realizadas duas intervenções não programadas de manutenção de grande dimensão e que abrangeram a máquina em geral. Estas ocorreram no início de Março de 2009, graficamente cerca do dia 90, justificando

assim o decréscimo da taxa de falhas a jusante, observando-se depois um aumento. Já no fim do mês de Outubro de 2009 realizou-se outra intervenção geral não programada da manutenção, que graficamente ronda cerca do dia 300, que originou outra descida temporária da taxa de falhas verificando depois a ocorrência de um diagrama de banheira.

Linha de Produção CL08

Esta linha de produção, no ano de 2009 e de 2010 apresentou um total de 117 falhas. Estas falhas ocorreram nos seguintes subsistemas:

- Armários eléctricos
- Carro de descarga
- Carro de entrada
- Desenrolador
- Enrolador
- Enrolador de refilado
- Guia bandas laterais
- Guilhotina circular
- Guilhotina de despuntes
- Sistema Hidráulico
- Mesa de passagem
- Painéis de controlo
- Prensa de feltros
- Sistema de Refrigeração

Realizando um Teste de Laplace às falhas ocorridas nesta linha de produção podemos ver o comportamento destas ao longo do tempo.

Tabela 6.3 Teste de Laplace às falhas da CL08.

CL08			
$\sum \tau_i$	39066	Z_0	-1,41
Duração do ensaio (dias)	722	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	117	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Com o valor $Z_0 = -1,41 \notin \{-1,65; 1,65\}$, não se rejeita-se a hipótese nula, H_0 : Taxa de falhas constante (PPH), para um intervalo de confiança de 90%.

Por observação do teste de Laplace observa-se que esta linha de produção apresenta uma taxa de falhas constante. Ou seja, os tempos entre falhas não apresentam tendência. O MTBF desta linha de montagem encontra-se com um valor de 7 dias.

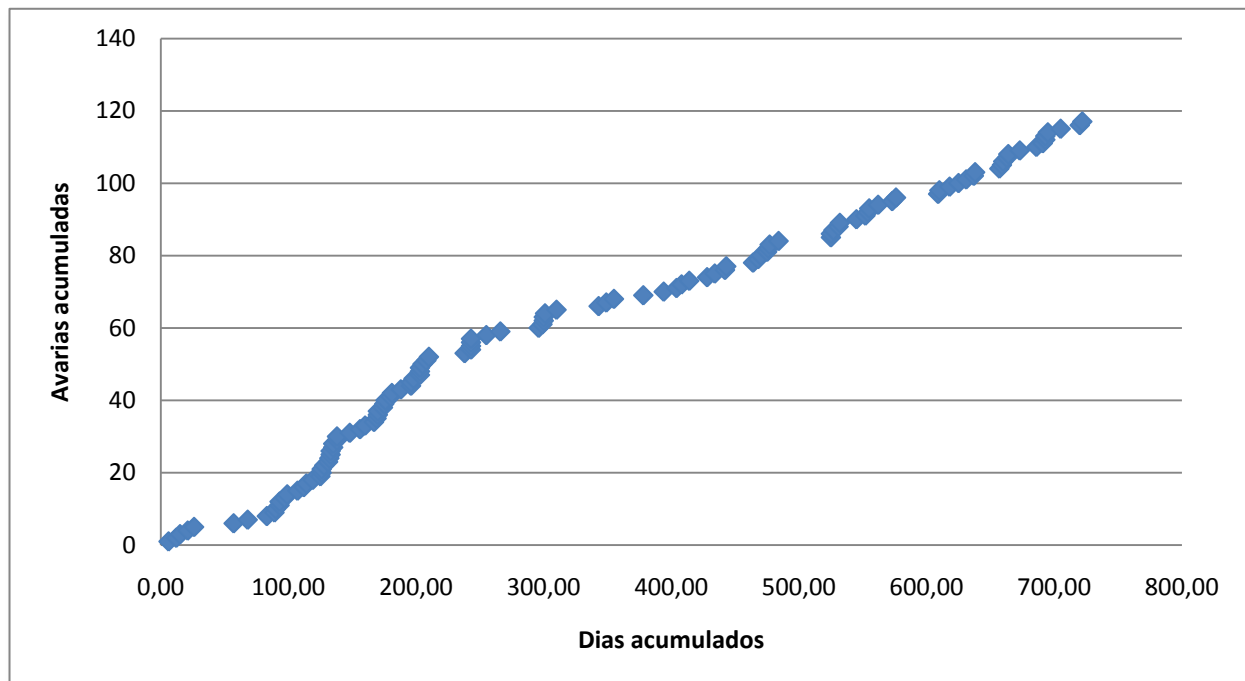


Figura 6.4 Distribuição das falhas ao longo do ano de 2009 e 2010 da CL08.

Uma vez que esta linha de produção já possui uma taxa de falhas constante é do máximo interesse que esta taxa se mantenha desta forma, o objectivo será trabalhar de modo a aumentar o MTBF para que se consiga consequentemente um aumento de fiabilidade.

6.2. Elaboração dos Planos de Manutenção Preventiva

Plano de Manutenção da Linha CL03

De modo a identificar quais os subsistemas que mais contribuem para o aumento da taxa de falhas desta linha de corte, realizou-se um diagrama de Pareto. Este permite identificar quais os subsistemas que representam cerca de 80% das falhas, sendo sobre estes que é impreterível a actuação preventiva.

Com a programação das intervenções de manutenção nestes subsistemas críticos pressupõe-se que as falhas se considerem controladas. De modo a abranger-se toda a linha de produção, considerar-se-á intervenções nos restantes subsistemas com uma periodicidade maior quando comparadas com os subsistemas críticos.

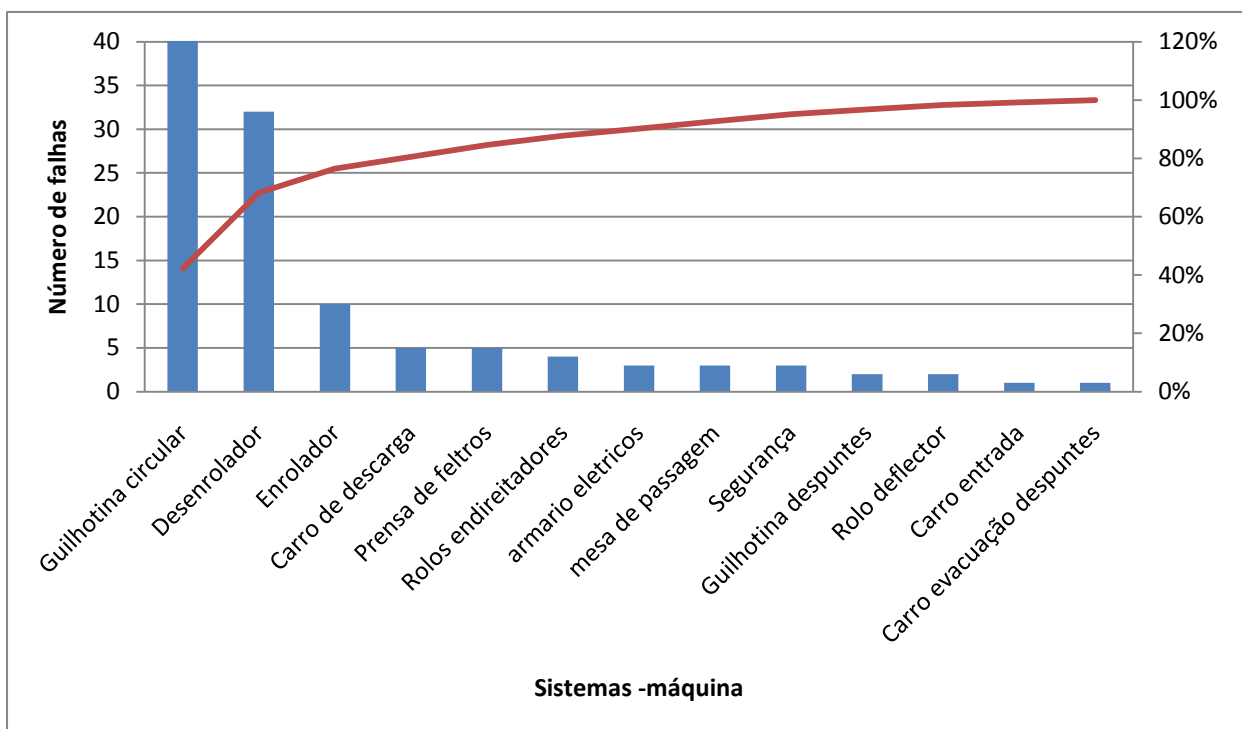


Figura 6.5 Diagrama de Pareto da CL03.

Observando-se o diagrama de Pareto da linha de produção CL03, constata-se que a grande maioria das falhas incide sobre a guilhotina circular e o desenrolador.

Realizando um teste de *Laplace* a estes subsistemas obtemos os seguintes resultados:

Tabela 6.4 Teste de Laplace aos subsistemas com mais falhas da CL03.

Subsistema	Z_0	Taxa de Falhas	MTBF (dias)
Guilhotina circular	2,59	Crescente	-
Desenrolador	1,21	Constante	23

Deste modo, foi realizado um levantamento dos aspectos técnicos onde se deve actuar para eliminar as denominadas falhas recorrentes:

Tabela 6.5 Avarias recorrentes nos dois sistemas mais critica linha CL03.

Subsistema	Avaria(s) recorrente(s)
Guilhotina circular	Torre de corte
	Bloqueio de corte
	Paralelismo
	Rodilhos Presos
Desenrolador	Contra ponto desenrolador
	Não expansão do desenrolador
	Gomos partidos

Assim, vamos realizar as devidas análises estatísticas para se conseguir uma fiabilidade 80% para o sistema em causa.

Para se realizar uma análise estatística correcta, é necessário verificar-se quais as falhas que efectivamente devem ser consideradas para análise. Quando se pretende realizar uma previsão tendo em conta a análise estatística de falhas deve-se ter em conta as falhas que foram causadas por falta de intervenção de manutenção.

Por vezes quando são realizadas operações de manutenção correctiva, estas não são feitas da forma mais eficiente pois estão a ser considerados custos de paragem não programada e as intervenções, por vezes, são feitas de modo rápido sem a melhor precisão, levando a que pouco tempo depois volte a haver uma falhas semelhante ou no mesmo sistema, pelo facto de não se ter feito a intervenção de modo correcto.

Assim, deste modo e para efeitos de planeamento preventivo, quando ocorrem duas falhas num curto espaço de tempo, considera-se que a segunda falha ocorre por ter havido uma intervenção deficiente na falha ocorrida primeiramente, deste modo para efeitos estatísticos teve-se em conta apenas a que ocorreu em primeiro lugar.

Para a modelação dos tempos desde a última falha principal foi utilizada a distribuição de *Weibull*. Adaptando esta distribuição estatística, é possível prever a fiabilidade dos equipamentos para um determinado período de utilização.

No caso da guilhotina circular, para se obter uma fiabilidade de 80%, esta deve ser alvo de manutenção preventiva, segundo um intervalo de confiança de 95% para $6 \leq T_p \leq 16$ dias, conforme mostrado no gráfico da função de densidade de probabilidade considerando-se assim um valor de cerca de 12 dias entre manutenções.

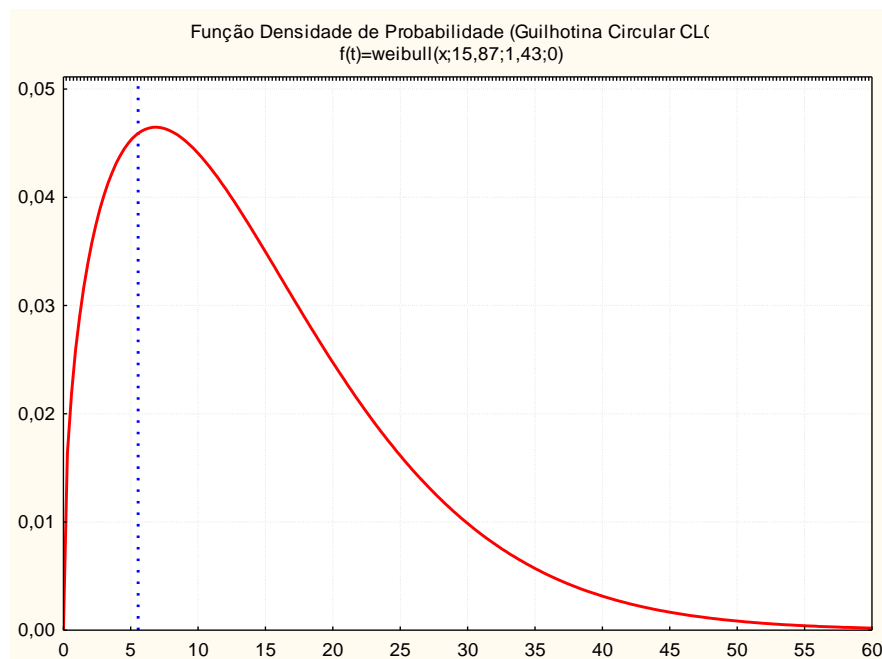


Figura 6.6 Função Densidade de Probabilidade da guilhotina Circular da linha CL03 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

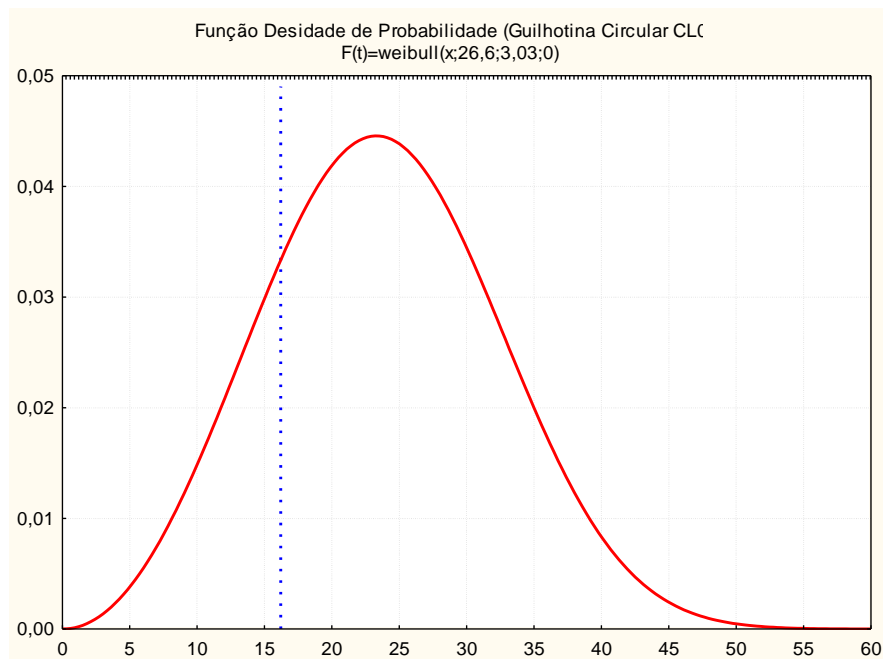


Figura 6.7 Função Densidade de Probabilidade da guilhotina Circular da linha CL03 (para o limite superior do intervalo de confiança).

Com a aplicação desta metodologia espera-se que a taxa de falhas se torne constante com um \widehat{MTBF} a rondar os 67 dias.

A transição de uma taxa de falhas crescente para uma taxa de falhas constante com um MTBF que garanta uma fiabilidade pretendida, não é alcançada de modo instantâneo, aquando da aplicação do plano de manutenção preventiva.

Quando se intervém preventivamente num sistema reparável com taxa de falhas crescente, vai travar-se o crescimento da taxa de falhas, fazendo com que esta estilize com um MTBF que não garante a fiabilidade pretendida. Com a aplicação da manutenção preventiva a todos os componentes, espera-se que a taxa de falhas se torne decrescente, até que por fim esta volte a tornar-se constante atingindo o MTBF esperado para a fiabilidade esperada, 80% para este caso. O gráfico 6.8 é exemplo desse processo de transição.

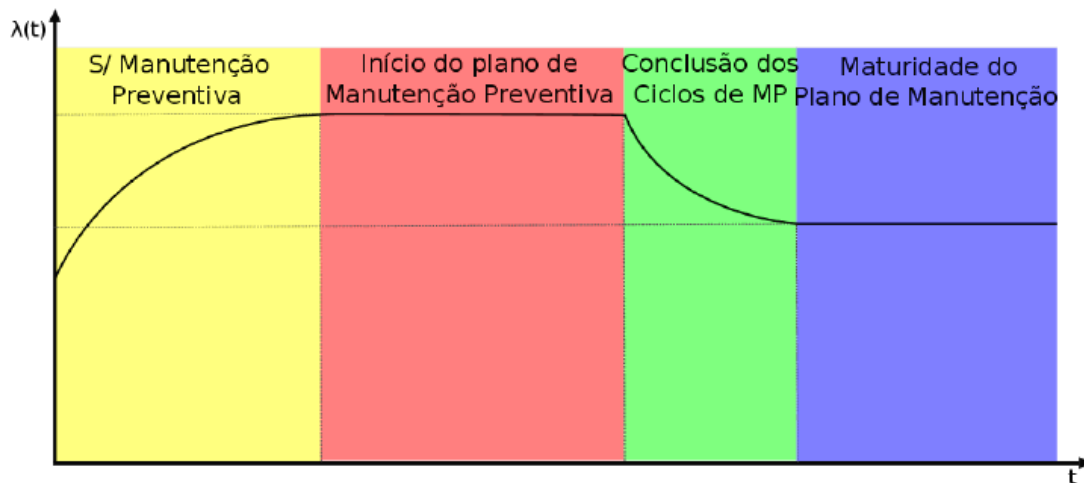


Figura 6.8 Evolução da eficácia do Plano de manutenção preventiva ao longo do tempo.

No que diz respeito ao desenrolador, deve-se intervir neste, para uma fiabilidade de 80%, num espaçamento temporal compreendido no seguinte intervalo $7 \leq T_p \leq 18$ dias, com um intervalo de confiança de 95%.

De modo a fazer-se uma intervenção preventiva nesta linha de produção de uma só vez sugere-se uma intervenção a cada 12 dias. Na figura 6.7 podemos ver a função densidade de probabilidade.

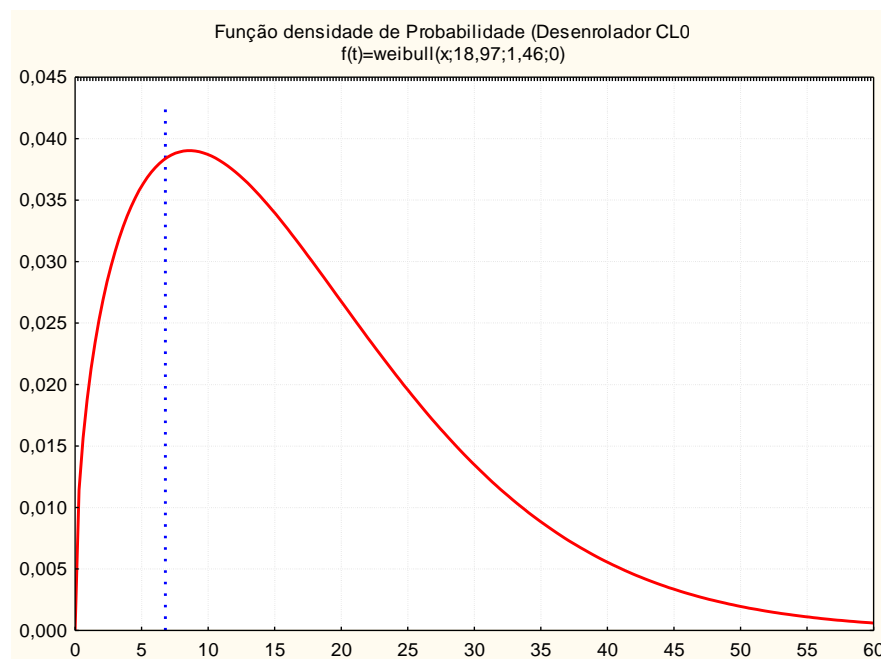


Figura 6.9 Função Densidade de Probabilidade do Desenrolador da linha CL03 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

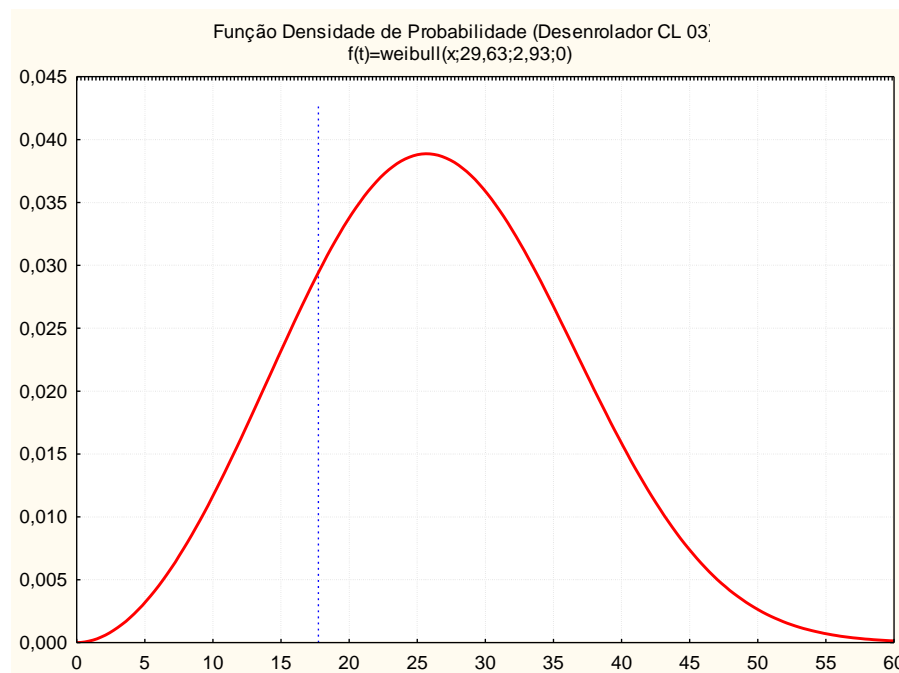


Figura 6.10 Função Densidade de Probabilidade do Desenrolador da linha CL03 (para o limite superior do intervalo de confiança).

Com a aplicação deste plano de manutenção espera-se que a taxa de falhas do desenrolador seja constante com um \widehat{MTBF} a rondar os 59 dias, em vez do MTBF actual de 22,36 dias.

Após a aplicação das medidas que conduzem à eliminação das falhas recorrentes passamos a garantir uma taxa de falhas constante para a linha de produção.

Para finalizar e de modo a que uma fiabilidade de 80% seja garantida nesta linha de produção deve também realizar-se inspecções periódicas a cada 24 dias para os seguintes subsistemas:

- Armários eléctricos
- Carro de entrada
- Carro de descarga
- Carro evacuação de despuntes
- Enrolador
- Guilhotina de despuntes

- Mesa de passagem
- Prensa de feltros
- Rolo deflector
- Rolos endireitadores
- Segurança

Com a implementação do plano de manutenção nesta unidade de produção, é espectável que a taxa de falhas se torne constante, com o um \widehat{MTBF} a rondar os 30 dias.

De modo a manter a taxa de falhas constante, elaborou-se os procedimentos de manutenção preventiva, que pode ser observado nas tabelas 6.6 a 6.9.

Tabela 6.6 Checklist de intervenção preventiva para os subsistemas mais críticos da linha CL03.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado
Guilhotina circular	Ver válvulas hidráulicas de controlo de bloqueio, assim como a pressão de bloqueio	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar se o dimensionamento entre o lado do operador e o lado do motor excede os 0,03mm	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar os rolos de aplanagem	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar a lubrificação geral da linha	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar níveis óleo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Reaperto geral	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar fugas de óleo/ar	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Desenrolador	Verificar o ajuste dos sensores do contra ponto desenrolador	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar o estado do veio de expansão do mandrino e vedantes do rotativo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Ver o estado das guias e dos parafusos de aperto das guias	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Nível óleos lubrificações	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar níveis óleo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Reaperto geral	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar fugas de óleo/ar	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.7Planeamento temporal de intervenção nos subsistemas mais críticos da linha CL03.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		X			X			X			X			X			X			X			X
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
		X			X			X			X			X			X			X			X

Tabela 6.8 Checklist de intervenção preventiva para os restantes subsistemas da linha CL03.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado
Limpar Armários e Consolas eléctricas	Limpeza geral	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Reaperto Geral e Lubrificações	Reaperto das bases da máquina e rolos chumaceiras	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Segurança	Verificar sensores de segurança	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Carros (entrada, saída e de despuntes)	Verificação dos circuitos eletricos, rolamentos e motor	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Ver sistema hidráulico e fugas de óleo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Prensa de feltros, rolos endireitadores e rolo deflector	Verificação do estado da bechiga na prensa e estado das borrachas dos rolos deflector	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.9 Planeamento temporal de intervenção nos subsistemas menos críticos da linha CL03.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
					X						X						X						X
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
					X						X						X						X

Plano de Manutenção da Linha CL04

Realizando-se um diagrama de Pareto para esta linha observam-se que cerca de 80% das falhas se encontravam nos subsistemas Desenrolador, Carro de entrada, Guilhotina circular e sistema hidráulico.

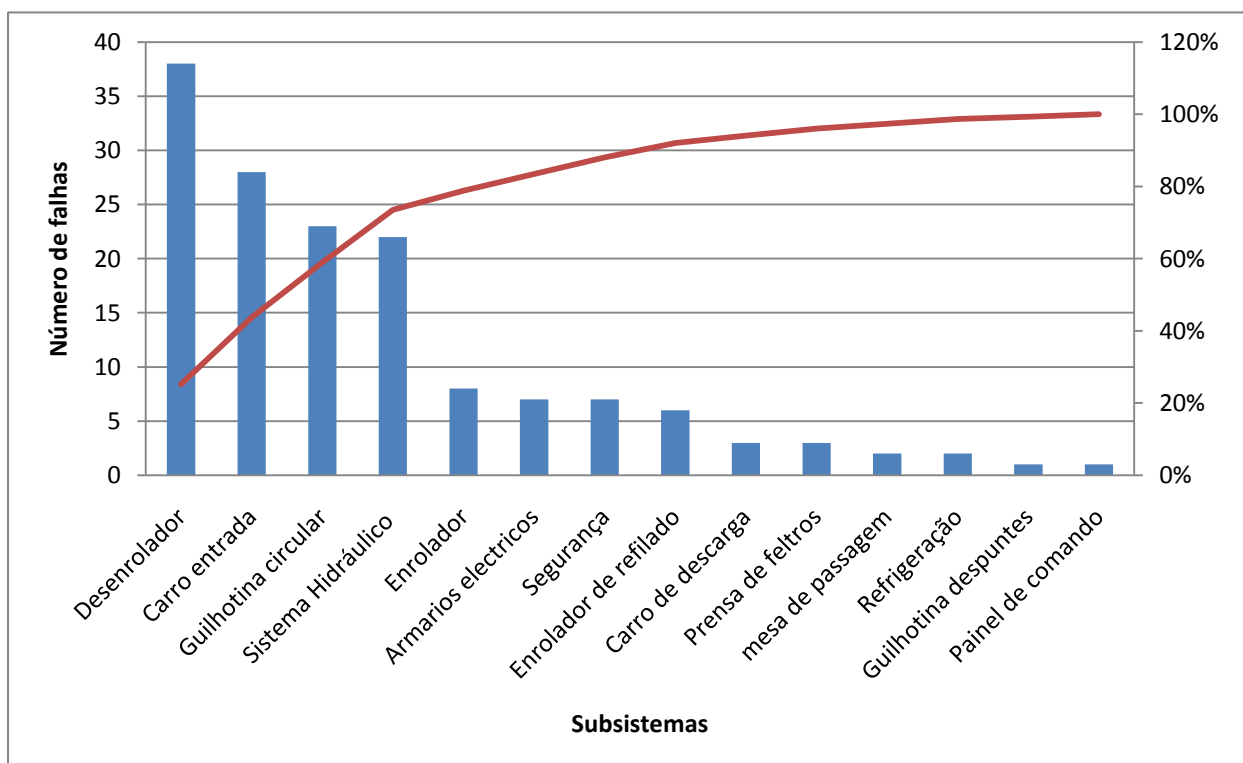


Figura 6.11 Diagrama de Pareto dos Subsistemas da CL04.

Assim deste modo, é sobre estes quatro subsistemas que devemos actuar com especial atenção e realizar o planeamento da manutenção com o objectivo de alcançar uma fiabilidade 80%.

Vamos então realizar o respectivo teste de *Laplace* para cada um dos componentes de modo a perceber a forma como estes contribuem para o aumento ou decréscimo da fiabilidade do sistema geral.

Tabela 6.10 Teste de Laplace aos subsistemas principais da CL04.

Subsistema	Z_0	Taxa de falhas	MTBF (dias)	CMTBF (dias)
Desenrolador	0,05	Constante	19	-
Carro de entrada	-2,15	Decrescente	-	27
Guilhotina circular	1,89	Crescente	-	-
Sistema hidráulico	-1,80	Decrescente	-	47

Deste modo foi realizado um levantamento dos aspectos técnicos onde se deve actuar para eliminar as denominadas falhas recorrentes:

Tabela 6.11 Falhas recorrentes nos subsistemas mais críticos da linha CL04.

Subsistema	Avaria(s) recorrente(s)
Desenrolador	Não expansão do desenrolador
	Gomos partidos
Carro de entrada	Fugas de óleo
	Hidráulica
Guilhotina circular	Torre de corte
	Bloqueio de corte
	Paralelismo
	Rodilhos Presos
Sistema hidráulico	Fugas de óleo
	Tubos danificados

Podemos perceber que no momento do estudo o carro de entrada e o sistema hidráulico apresentavam uma taxa de falhas decrescente, mas como já foi explicado se não se realizar uma manutenção periódica é uma questão de tempo até estas taxas de falhas inverterem a tenderem a ser crescentes.

Assim e de modo a que esta situação não se verifique fez-se o planeamento da manutenção para cada um dos subsistemas de modo a garantir-se uma fiabilidade de 80% adaptando os dados a uma distribuição de *Weibull*.

Mais uma vez teve-se em conta o procedimento realizado na linha de montagem CL03, quando ocorrem duas falhas num curto espaço de tempo, considera-se que a segunda ocorre por ter havido uma intervenção deficiente da manutenção na falha ocorrida em primeiro lugar, considerando-se para efeitos estatísticos apenas a que ocorreu primeiro.

Assim para o desenrolador, de modo a garantir-se uma fiabilidade de 80% deve realizar-se neste subsistema, considerando um intervalo de confiança de 95%, manutenções com uma periodicidade compreendida entre $3 \leq T_p \leq 8$ dias.

Assim para se garantir a fiabilidade esperada recomenda-se uma intervenção neste subsistema, todas as semanas, a cada 5 dias.

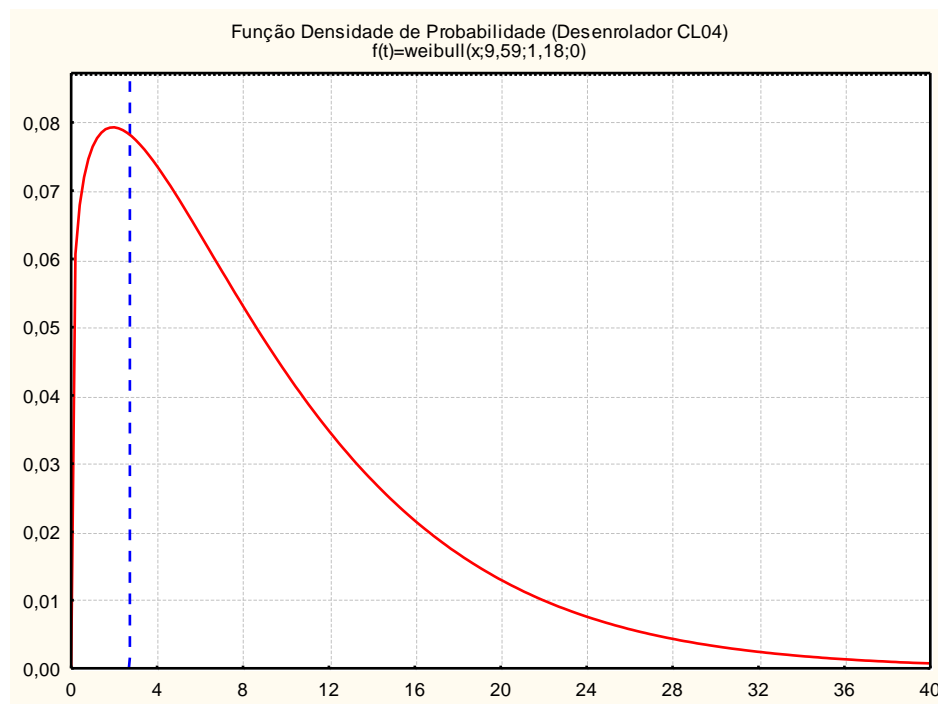


Figura 6.12 Função Densidade de Probabilidade do Desenrolador da linha CL04 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

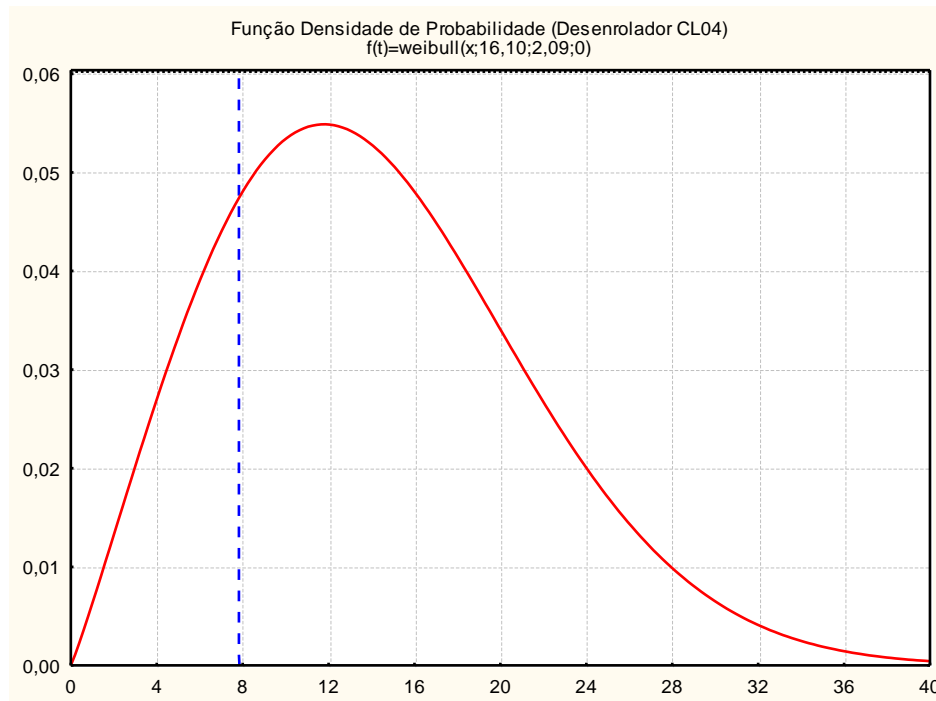


Figura 6.13 Função Densidade de Probabilidade do Desenrolador da linha CL04 (para o limite superior do intervalo de confiança).

Para se garantir a fiabilidade pretendida, este período de manutenção é muito curto. Relativamente à idade deste assim como ao trabalho a que está sujeito, verificou-se que este já possuía alguma idade e, uma vez que ocorrem situações em que são colocadas bobinas que têm o centro ligeiramente oval, essa situação motiva a que o peso não se distribua homogeneamente pelo desenrolador, fazendo com que certas partes deste se desgastem mais rapidamente.

Perante este cenário recomenda-se a ponderação da hipótese da substituição do desenrolador em questão por um novo, dado o desgaste que este apresenta assim como a assistência constante que necessita.

Optando-se por se manter este equipamento, espera-se que com manutenção semanal a taxa de falhas se mantenha constante mas o \widehat{MTBF} seja de 90 dias.

Para os outros três subsistemas, carro de entrada, guilhotina circular e sistema hidráulico o respectivo plano de manutenção encontra-se na tabela 6.5. Os gráficos correspondentes a adaptação das falhas à distribuição de *Weibull* destes subsistemas podem ser encontrados no anexo E.

Tabela 6.12 Quadro resumo das intervenções de manutenção preventiva dos principais subsistemas da CL04.

Subsistema	Intervalo de confiança de 95%	Tempo entre intervenções (dias)	MTBF (dias)
Carro de entrada	$4 \leq T_p \leq 14$	10	90
Guilhotina circular	$6 \leq T_p \leq 20$	10	154
Sistema hidráulico	$8 \leq T_p \leq 30$	20	161

Uma vez realizadas as estimativas das intervenções da manutenção preventiva para uma fiabilidade de 80%, verificou-se que para esta linha de produção se deve intervir a cada 10 dias úteis no carro de entrada e guilhotina e a cada 20 dias no sistema hidráulico.

De modo a que se mantenha a fiabilidade constante para os restantes subsistemas sugere-se que se intervenham em termos de verificação e manutenção nestes a cada 30 dias, na semana em que não se realizar manutenção no sistema hidráulico. São estes subsistemas:

- Armários Eléctricos
- Carro de descarga
- Enrolador
- Enrolador de refileado
- Guilhotina de despuntes
- Mesa de passagem
- Painéis de comando
- Prensa de feltros
- Refrigeração
- Segurança

Com todas estas intervenções espera-se que o \widehat{MTBF} desta linha de produção se venha a situar nos 23 dias.

Assim para esta linha de produção, apresenta-se o seguinte plano de manutenção preventiva:

Tabela 6.13 Checklist de intervenção preventiva para o desenrolador da linha CL04.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado
Desenrolador	Verificar o estado do veio de expansão do mandrino e vedantes do rotativo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Ver o estado das guias e dos parafusos de aperto das guias	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Nível óleos lubrificações	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar níveis óleo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Reaperto geral	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar fugas de óleo/ar	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar o ajuste dos sensores do contra ponto desenrolador	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.14 Planeamento temporal de intervenção no desenrolador da linha CL04.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Em termos práticos, esta situação não é a mais acertada uma vez que todas estas intervenções têm um espaçamento temporal muito reduzido levando a que se realizem demasiadas operações de manutenção.

Por este modo, sugere-se mais uma vez uma análise às principais causas de falhas, os gomos partidos, de modo a eliminar-se esta. Caso isso não seja possível, ponderar-se-á a hipótese de aquisição de um novo desenrolador, tendo em conta claro, os custos deste *versus* custo de manutenção constantes e assim como eventuais custos de perdas de

produtividade devido ao numero de intervenções necessárias para o bom funcionamento da máquina.

Tabela 6.15 Checklist de intervenção preventiva no carro de entrada e guilhotina circular da linha CL04.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado
Carro de entrada	Verificação dos circuitos eletricos, rolamentos e motor	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Ver sistema hidráulico e fugas de óleo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificação dos circuitos eletricos, rolamentos e motor	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Guilhotina circular	Ver válvulas hidráulicas de controlo de bloqueio, assim como a pressão de bloqueio	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar se o dimensionamento entre o lado do operador e o lado do motor excede os 0,03mm	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar o rolamento dos rodilhos	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar a lubrificação geral da linha	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.16 Planeamento temporal de intervenção no carro de entrada e na guilhotina circular da linha CL04.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		X			X			X			X			X			X			X			X
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
		X			X			X			X			X			X			X			X

Tabela 6.17 Checklist de intervenção preventiva no sistema hidráulico da linha CL04.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado
Sistema hidráulico	Verificar fugas de óleo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar tubos	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.18 Planeamento temporal de intervenção no sistema hidráulico da linha CL04.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			X				X				X				X				X				X
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
			X				X				X				X				X				X

Tabela 6.19 Checklist de intervenção preventiva nos subsistemas menos críticos da linha CL04.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado
Limpar Armários e Consolas eléctricas	Limpeza geral	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Reaperto Geral e Lubrificações	Reapertos das bases da máquina e rolos chumaceiras	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Segurança	Verificar sensores de segurança	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Carros (saída e de despuntes)	Verificação dos circuitos eléctricos, rolamentos e motor	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Prensa de feltros, rolos endireitadores e rolo deflector	Verificação do estado da bechiga na prensa e estado das borrachas dos rolos deflector	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Refrigeração	Verificar sistema de refrigeração	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.20 Planeamento temporal de intervenção nos subsistemas menos críticos da linha CL04.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		X							X									X					
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
X								X									X						

Plano de Manutenção da Linha CL08

Dividindo todas as falhas pelos respectivos subsistemas, podemos agrupar estas num diagrama de Pareto de modo a perceber quais as que mais contribuem para o decréscimo da fiabilidade, à semelhança do que foi feito nas outras duas linhas em estudo.

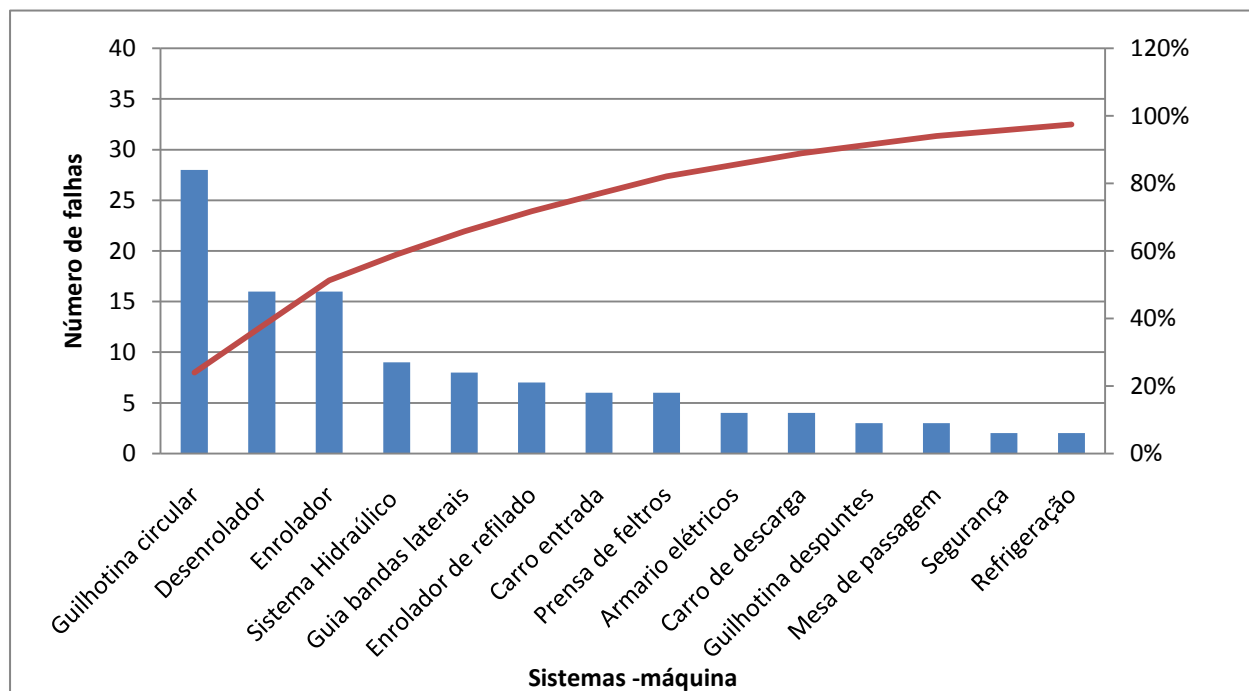


Figura 6.14 Diagrama de Pareto dos subsistemas da linha CL08.

Como se pode observar do diagrama 6.14 existem três subsistemas que contribuem em maior percentagem para o decréscimo da fiabilidade, a guilhotina circular, o desenrolador e o enrolador. Assim deste modo vamos incidir estatisticamente num plano de manutenção preventiva adaptando as falhas a uma distribuição de *Weibull*.

De modo a perceber-se o comportamento destes três subsistemas, realizou-se um teste de Laplace para todos eles:

Tabela 6.21 Teste de Laplace dos principais subsistemas da CL08.

Subsistema	Z_0	Taxa de falhas	MTBF (dias)	CMTBF (dias)
Guilhotina circular	-0,21	Constante	25	-
Desenrolador	-1,33	Constante	41	-
Enrolador	-2	Decrescente	-	55

Deste modo foi realizado um levantamento dos aspectos técnicos onde se deve actuar para eliminar as denominadas falhas recorrentes:

Tabela 6.22 Principais falhas dos subsistemas críticos da linha CL08.

Subsistema	Avaria(s) recorrente(s)
Guilhotina circular	Torre de corte
	Bloqueio de corte
	Paralelismo
	Rodilhos Presos
Desenrolador	Não expansão do desenrolador
	Gomos partidos
Enrolador	Não expansão do enrolador

Observando-se os subsistemas da linha CL08 podemos ver que nenhum deste apresenta uma tendência de crescimento no que se refere a taxa de falhas.

Assim deste modo iremos desenvolver um plano de manutenção de modo a que a taxa de falhas se mantenha ou se torne constante aumentando assim o MTBF para valores que assegurem uma fiabilidade de 80%, recorrendo à distribuição de *Weibull*, à semelhança das outras duas linhas de produção.

Também nesta linha de produção e de modo a que esta análise estatística seja o mais exacta possível, não será considerada a última falha de duas ocorridas num curto período de tempo, pois esta provem de uma intervenção deficiente na realização da manutenção.

Assim, para a guilhotina circular e de modo a conseguir-se uma fiabilidade de 80% devem ser realizadas intervenções de manutenção preventiva, considerando-se um intervalo de confiança de 95%, num período temporal $6 \leq T_p \leq 18$, dias.

Deste modo recomenda-se que sejam feitas intervenções neste sistema a cada 14 dias, cerca de três semanas, esperando-se assim um \widehat{MTBF} de 129 dias.

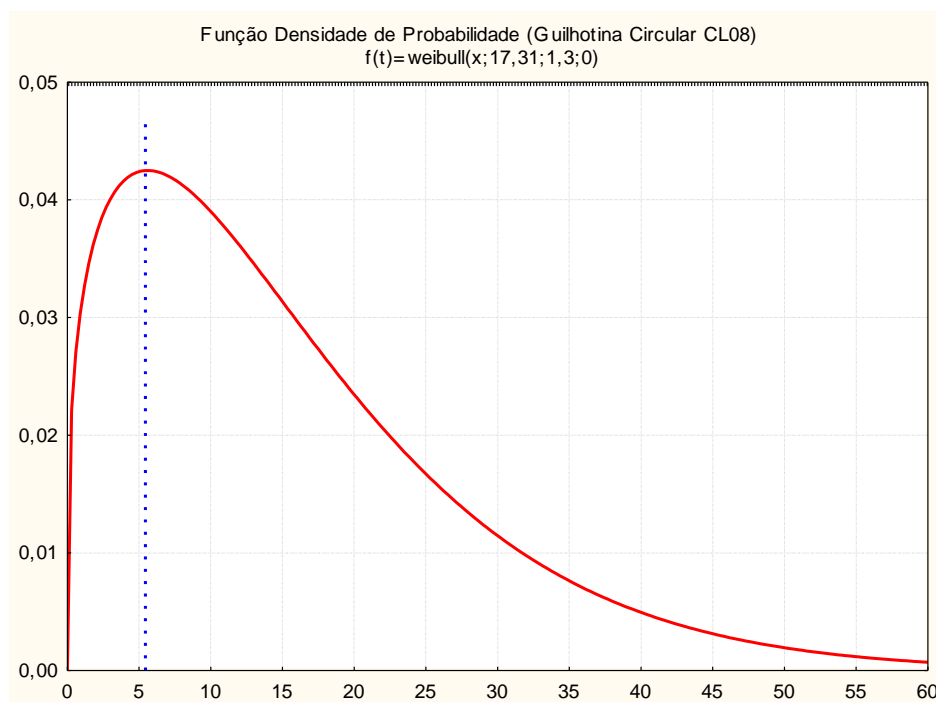


Figura6.15 Função Densidade de Probabilidade da Guilhotina Circular da linha CL08 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

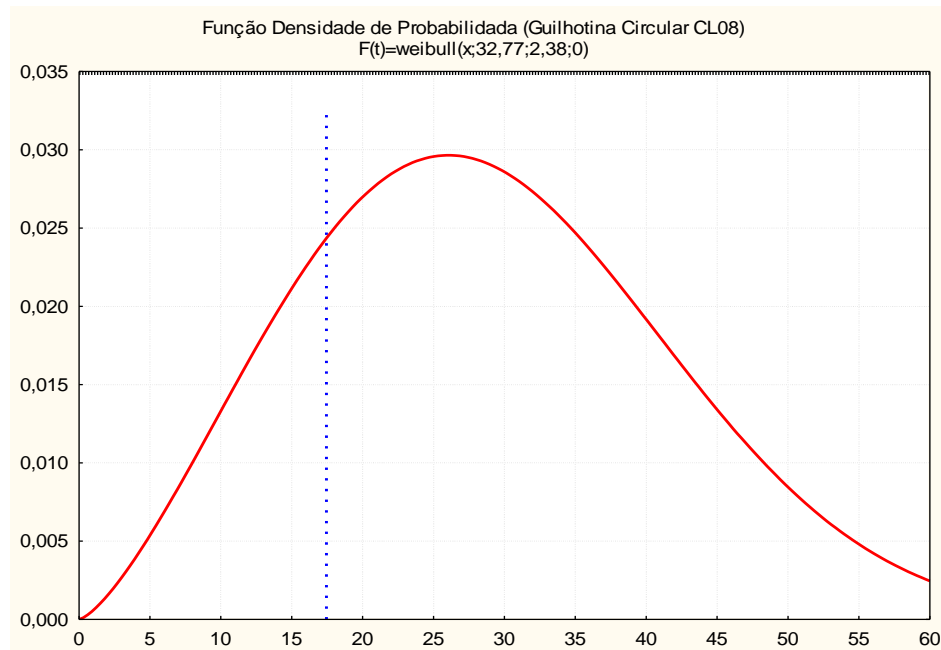


Figura 6.16 Função Densidade de Probabilidade da Guilhotina Circular da linha CL08 (para o limite superior do intervalo de confiança).

Para os outros dois subsistemas, Desenrolador e Enrolador o respectivo plano de manutenção encontra-se na tabela 6.23 com os tempos de manutenção preventiva para cada um. Os gráficos correspondentes a adaptação das falhas à distribuição de *Weibull* destes subsistemas podem ser encontrados no anexo E.

Tabela 6.23 Quadro resumo das intervenções de manutenção preventiva dos principais subsistemas da CL08.

Subsistema	Intervalo de confiança de 95%	Tempo entre intervenções (dias)	MTBF (dias)
Desenrolador	$7 \leq T_p \leq 22$	14	200
Enrolador	$10 \leq T_p \leq 46$	25	216

Com estas intervenções preventivas específicas a estes subsistemas, aconselham-se intervenções preventivas com uma periodicidade de cerca de 30 dias para os restantes subsistemas não analisados para que estes não interfiram de modo a que a fiabilidade final seja de pelo menos 80%.

Sugere-se assim que se intervenha a cada 30 dias nos seguintes subsistemas:

- Armários eléctricos
- Carro de descarga
- Carro de entrada

- Enrolador de refilado
- Guia bandas laterais
- Guilhotina de despuntes
- Sistema Hidráulico
- Mesa de passagem
- Painéis de controlo
- Prensa de feltros
- Sistema de Refrigeração

Com todo este planeamento espera-se conseguir uma fiabilidade de pelo menos 80% para esta linha de produção fazendo o $MTBF$ subir de 7 dias para 30 dias.

Perante estes factos, apresenta-se o seguinte plano de manutenção preventiva:

Tabela 6.24 Checklist de intervenção preventiva no desenrolador e guilhotina circular da linha CL08.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado
Desenrolador	Verificar o estado do veio de expansão do mandrino e vedantes do rotativo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Ver o estado das guias e dos parafusos de aperto das guias	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Nível óleos lubrificações	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar níveis óleo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Reaperto geral	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar fugas de óleo/ar	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Guilhotina circular	Ver válvulas hidráulicas de controlo de bloqueio, assim como a pressão de bloqueio	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar se o dimensionamento entre o lado do operador e o lado do motor excede os 0,03mm	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar o rolamento dos rodilhos	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar a lubrificação geral da linha	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.25 Planeamento temporal de intervenção no desenrolador e guilhotina circular da linha CL08.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		X			X			X			X			X			X			X			X
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
		X			X			X			X			X			X			X			X

Tabela 6.26 Checklist de intervenção preventiva no enrolador da linha CL08.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado	
Enrolador	Fugas de óleo	OK <input type="checkbox"/>	NOK <input type="checkbox"/>
	Tubos danificados	OK <input type="checkbox"/>	NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.27 Planeamento temporal de intervenção no enrolador da linha CL08.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
				X					X					X				X					
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
X					X					X					X					X			

Tabela 6.28 Checklist de intervenção preventiva nos sistemas menos críticos da linha CL08.

Elemento a Verificar	Operação a desempenhar	Estado
Limpar Armários e Consolas eléctricas	Limpeza geral	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Reaperto Geral e Lubrificações	Reapertos das bases da máquina e rolos chumaceiras	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Segurança	Verificar sensores de segurança	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Carros (entrada, saída e de despuntes)	Verificação dos circuitos eletricos, rolamentos e motor	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Prensa de feltros, rolos endireitadores e rolo deflector	Verificar fugas e estado da superfície dos rolos	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Refrigeração	Verificar sistema de refrigeração	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Mesa de passagem e guias bandas laterais	Verificar paralelismo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Guilhotina de despuntes	Verificar o estado da chumaceira	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
Hidráulica	Verificar fugas de óleo	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>
	Verificar tubos	OK <input type="checkbox"/> NOK <input type="checkbox"/>

Tabela 6.29 Planeamento temporal de intervenção nos subsistemas menos críticos da linha CL08.

JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
					X						X						X						X
JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ			
Semana				Semana				Semana				Semana				Semana				Semana			
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
					X						X						X						X

Capítulo 7. Conclusões Gerais

7.1 Conclusões

7.2 Sugestões para trabalhos futuros

7.1. Conclusões

Neste capítulo, apresenta-se uma síntese das principais conclusões que se obtiveram ao longo dos capítulos anteriores e que compõem esta dissertação, tanto a nível de investigação teórica e científica, assim como à aplicação prática dos conceitos teóricos.

Igualmente, serão descritas de um modo conciso, as acções a desenvolver em consequência dos resultados obtidos e sugestões que poderão sustentar um trabalho consistente no âmbito da análise de sobrevivência e da gestão da manutenção.

Uma análise de sobrevivência tem como objectivo o estudo do momento em que acontece uma determinada ocorrência. Este estudo só é possível com recurso a ferramentas estatísticas. Mesmo deste modo a modelação estatística pode revelar-se uma das maiores dificuldades das previsões no que concerta à estimação da fiabilidade.

Uma vez que o sistema reparável alvo de estudo é um sistema robusto, com um alto valor material, com muitos componentes e consequentemente com algum grau de complexidade, a realização de uma análise estatística das falhas mostrou ser um ganho para a organização. Permitiu identificar os componentes críticos e perceber como se pode actuar sobre estes de modo correcto, podendo revelar-se numa minimização de custos.

O estudo desenvolvido ao longo deste trabalho desenrolou-se em duas fases. Numa primeira abordagem foi feito um estudo às paragens ocorridas e ao tempo entre ocorrências, na linha de produção. Seguidamente evidenciou-se as paragens oriundas das falhas onde foram desenvolvidos, através de abordagens estatísticas, um plano preventivo para que estas não ocorram no futuro.

Na primeira fase do estudo desta dissertação foi realizada uma análise de eficácia à linha de produção CL03. Esta mostrou que as velocidades médias de corte efectivas eram sempre abaixo das velocidades médias definidas. Revelou também ser a linha que mais horas desperdiçou em paragens de produção no ano de 2010. Verificou-se que de todas as horas de paragens, as mais evidentes foram as paragens ocorridas por intervenção da Qualidade e da Manutenção. Observou-se também que se as paragens pela manutenção fossem eliminadas na totalidade, a eficiência da linha teria um aumento global de 6%, passando a ter uma eficácia de 87%.

Com a pretensão de se atingir esse aumento de 6% na eficácia da linha, na segunda parte do estudo deste trabalho, desenvolveu-se de um plano de manutenção preventiva, tanto para a linha CL03, como para as restantes linhas de corte transversal, CL04 e CL08, pois todas têm em comum o mesmo processo de corte e verificou-se que muitas das vezes os subsistemas críticos eram comuns a todas, podendo assim, desenvolver-se um estudo estatístico a cada um aumentando assim a fiabilidade de todo processo de corte longitudinal da Bamesa – SLEM.

Para a linha de Corte CL03, observou-se que a grande maioria das falhas ocorriam na guilhotina circular e no desenrolador, revelando-se serem estes os subsistemas que mais contribuíam para a redução da fiabilidade desta linha de produção. Relativamente a estes dois subsistemas, devem ser feitas inspecções preventivas com uma periodicidade de 12 dias. Com o desenvolvimento de um plano de manutenção para esta linha é expectável que a sua taxa de falhas seja constante, e que se consiga um MTBF estimado de 30 dias e a fiabilidade atinja os 80%.

Relativamente à linha de corte CL04, os subsistemas que revelaram ser os que mais contribuam para a redução da fiabilidade foram o desenrolador, a guilhotina circular, carro de entrada e sistema hidráulico. Com uma análise estatística às falhas destes sistemas, recorrendo a testes de *Laplace* e a distribuição de *Weibull*, verificou-se que para uma fiabilidade de 80% seria necessário realizarem-se intervenções a cada 5 dias no desenrolador, 10 dias no carro de entrada e guilhotina circular e 20 dias no sistema hidráulico.

É de referir que uma intervenção semanal no desenrolador pode ter custos bastante avultados, tanto pelo custo da intervenção, assim como pelo facto de ter que haver muitas intervenções e haver a possibilidade de estas ocorrerem durante a produção

podendo haver custos de não produção associados. Deste modo é sugerido a ponderação da substituição deste por um novo pelos motivos descritos e também por este já apresentar alguma idade.

Assim, para uma fiabilidade de 80%, na linha CL04 é espectável que se atinja nesta linha uma taxa de falhas constante assim como um MTBF esperado a rondar os 90 dias.

Relativamente à linha CL08, esta mostrou que os seus componentes críticos eram a guilhotina circular, o enrolador e o desenrolador. Mais uma vez com recurso às técnicas estatísticas do teste de *Laplace* e a adaptação dos tempos entre falhas a uma distribuição de *Weibull*, verificou-se que seria necessário intervir na guilhotina circular e no desenrolador a cada 14 dias. Já no enrolador seria fundamental haver intervenções preventivas periódicas a cada 25 dias, de modo a alcançar-se um MTBF estimado de 30 dias e a fiabilidade desta linha de produção a rondar os 80%

Ao observar-se o estudo realizado de um modo global, é possível concluir-se que os subsistemas, comuns às três linhas de produção, que revelaram ser os mais críticos foram a guilhotina circular e o desenrolador.

A explicação encontrada para justificar esta situação pode dever-se ao facto de quando o desenrolador é usado, sustenta muitas toneladas, podendo chegar a ser mais de 20 toneladas suspensas num só veio. Existe também outra causa, nomeadamente o facto das bobines colocadas para corte nem sempre terem um centro circular, podendo apresentar alguma forma mais oval, que por sua vez torna a distribuição de peso pelo desenrolador não homogénea desgastando-o de forma disforme.

Já a guilhotina circular, é usada para cortar aço com espessuras relativamente grandes e, em conjunto com a velocidade a que é processado o corte, contribui para um desgaste mais rápido desta, caso não seja feito um acompanhamento devido.

Desta forma é essencial uma manutenção mais apertada para os componentes críticos, como foi demonstrado ao longo do trabalho.

Perante o trabalho prático desenvolvido, crê-se que se tenha atingido a grande maioria dos objectivos sugeridos. Apresentou-se uma análise estatística que acrescentou conhecimento técnico à explicação da razão de como estes acontecimentos sucedem,

concluindo-se que a análise de sistemas reparáveis complexos pode ser uma mais-valia para a redução de custos e até a um aumento de lucros de uma organização.

7.2. Sugestões para trabalhos futuros

Uma vez que o processo de melhoria de uma linha de produção é contínuo, existem muitas mais análises técnicas que podem ser realizadas de modo a atingir-se um nível de eficiência de excelência para além da apresentada nesta dissertação.

Assim deste modo, sugere-se que seja dada continuidade à análise de fiabilidade de outros subsistemas, assim como à actualização, com o passar do tempo, das *checklist* apresentadas no capítulo 6.

Sugere-se também uma análise semelhante à desenvolvida nesta dissertação, mas aplicada nas linhas de produção de corte transversal, pois eliminando as intervenções da manutenção não programada haveria, à semelhança das linhas longitudinais, um aumento significativo da produtividade.

Uma vez que se observou que as paragens de Qualidade eram uma das grandes fatias e razões de paragens de produção, é essencial que sejam feitos estudos aos procedimentos de intervenção do departamento de Qualidade, de modo a manter ou aumentar os níveis de exigência e que se consiga uma redução significativa dos tempos de paragem. Com esta melhoria seria possível aumentar a produtividade em muitas toneladas.

Bibliografia

- Ascher, H., Feingold, H. (1984). *Repairable Systems Reliability*. Marcel Dekker, Inc New York
- Assis, R. (2004). *Apoio à Decisão Em Gestão da Manutenção: Fiabilidade e Manutibilidade*. Lidel Edições Técnicas, Lda. Lisboa
- Assis, R. (2010). *Apoio à Decisão Em Gestão da Manutenção: Fiabilidade e Manutibilidade*. Lidel Edições Técnicas, Lda. Lisboa
- Bai, T., Jiang, Z., Tan, F. (2008) *Reliability Analysis of Repairable Systems Using Stochastic Point Process*. J. Shanghai Jiaotong University
- Baptista, L.L., Couto, L. Dias, J.M. (2011) *Lean Maintenance – Aplicabilidade em PME's*. 11º Congresso Nacional de Manutenção, 5 e 6 de Maio de 2011, Tomar
- Baptista, L.L., Dias, J.M., Leal, P. (2009) *O Custo do Ciclo de Vida Centrado na Fiabilidade*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- Bastos, J. e Rocha, C. (2006). *Análise de Sobrevivência – Conceitos Básicos*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Bicho, J., S., L. (2010). *Análise da Fiabilidade de Despacho de uma Frota A330* Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa.
- Cabral, J. (1998). *Organização e Gestão da Manutenção*. 3ª edição, Lidel, edições Técnicas Lda. Lisboa
- Cardoso, P.M.B.F. (1999). *TPM Uma Filosofia de futuro – Análise e implementação de TPM em unidade industrial*. Dissertação de Mestrado em Manutenção Industrial. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto.
- Dhillon, B. (2002). *Engineering Maintenance* CRC Press, Florida

- Dias, J. (2002). *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa
- Dias, J.M., Pereira, Z., L. (2009) *Fiabilidade e gestão da manutenção de Sistemas Reparáveis*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- Dias, J.M., Pereira, Z., L. Requeijo, J., G. (2009) *Monitorização do estado de condições dos sistemas reparáveis*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
- Feldman, R., Flores, C. (2010). *Applied Probability and Stochastic Process*. Science + Business media, Inc. London
- Fourier, J. (1992). *Optimal Properties of the Laplace Trend Test for Software-Reliability Models*. University of Grenoble
- Gaudoin, O. (1992). *Optimal Properties of the Laplace Trend Test for Software-Reliability Models*. Joseph Fourier University, Grenoble.
- Gnedenko, B., Ushakov, I. (1995). *Probabilistic Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto
- Gupta, A., Zeng, W., Wu, Y. (2010). *Probability and Statistical Models – Foundations for Problems in Reliability and Financial Mathematics*. Springer – Science + Business media, Inc. London
- Lindqvist, H. (2005). *On the statistical modeling and analysis of repairable systems*. Norwegian University of Science and Technology
- Marques, S. G. (2009). *Manutenção Industrial e Custo do Ciclo de Vida – Extracção de Oleaginosas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa.
- McPherson, J. (2010). *Reliability Physics and Engineering*. Springer – Science + Business media, Inc. London
- Nakagawa, T. (2005). *Maintenance Theory of Reliability*. Springer – Science + Business media, Inc. London

- Nascif, J. (2010). *Manutenção Orientada para Resultados*. Qualitymark Editora. Rio de Janeiro
- Neri, E.,V. (2010). *Fiabilidade e Gestão Soft da Manutenção das Fragatas da classe Vasco da Gama*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa.
- Norma EN 13306 de 9 de Julho de 2010. *Maintenance – Maintenance Terminology*. European Committee for standardization. Bruxelas
- Norma NP 4483 de 29 de Setembro de 2008. *Sistemas de gestão da Manutenção – Requisitos*. Instituto Português da Qualidade. Caparica
- O'Connor. P (1991). *Practical Reliability Engineering*. 3ª Edição. John Wiley & Sons. Chichester
- Rinne, H. (2009). *The Weibull distribution: a handbook*. Taylor & Francis Group, Boca Raton
- Romeu, J. (2005). *Censored data*. Reliability Analysis Center. New York
- SAS Institute Inc. (1999). *The Analyst Application*. Cary. North Carolina
- Smith, D. (2001). *Reliability, Maintainability and Risk – Practical methods for engineers*. 6ª Edição. Elsevier Group. Oxford
- Steveson, M. (2009). *An Introduction to Survival Analysis*. Massey University
- Tavares, L. (2005). *A Evolução da Manutenção*. Abraman
- Tsarouhas, P. (2011). *A comparative study of performance evaluation based on field failure data for food production lines*. Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki

Bibliografia On-Line

- *Company Presentation*. (2009). Obtido em Agosto de 2011, de Bamesa: www.bamesa.com

- *How We Do*. (2009). Obtido em Agosto de 2011, de Bamesa: www.bamesa.com
- *Weibull distribution*. (2008). Obtido em Setembro de 2011, de Maddock J. *et al*:
http://www.boost.org/doc/libs/1_38_0/libs/math/doc/sf_and_dist/html/math_toolkit/dist/dist_ref/dists/weibull.html
- *What We Do - The Steel Market*. (2009). Obtido em Agosto de 2011, de Bamesa: www.bamesa.com
- *Where We Are*. (2009). Obtido em Agosto de 2011, de Bamesa: www.bamesa.com
- *Who We Are - Mission/Vision/Values*. (2009). Obtido em Agosto de 2011, de Bamesa: www.bamesa.com
- *Who We Are - The history of Bamesa*. (2009). Obtido em Agosto de 2011, de Bamesa: www.bamesa.com

Anexos

Anexo A – Representação gráfica da função de probabilidade da distribuição de *Weibull*

Anexo B – Registos para o cálculo da eficiência da linha CL03

Anexo C – Parâmetros necessários ao cálculo da estatística de teste do teste de *Laplace*

Anexo D – Representação gráfica dos Testes de *Laplace*

Anexo E – Representação gráfica da adaptação dos dados À distribuição de *Weibull*

Anexo A – Representação gráfica da função de probabilidade da distribuição de *Weibull*

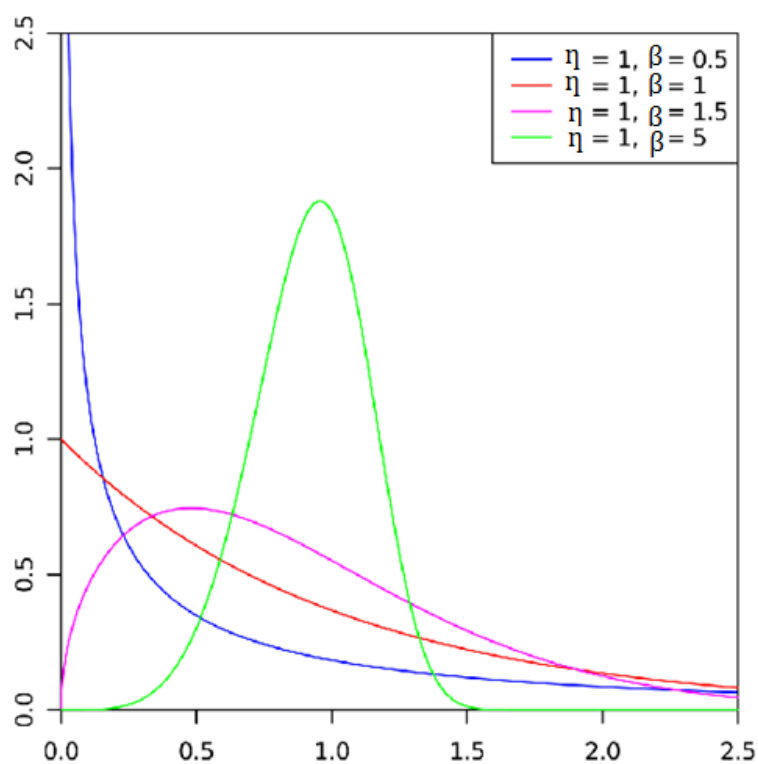


Figura A. 1 Função distribuição de probabilidade da distribuição de Weibull para vários parâmetros de forma (Maddock, J. et al. 2008).

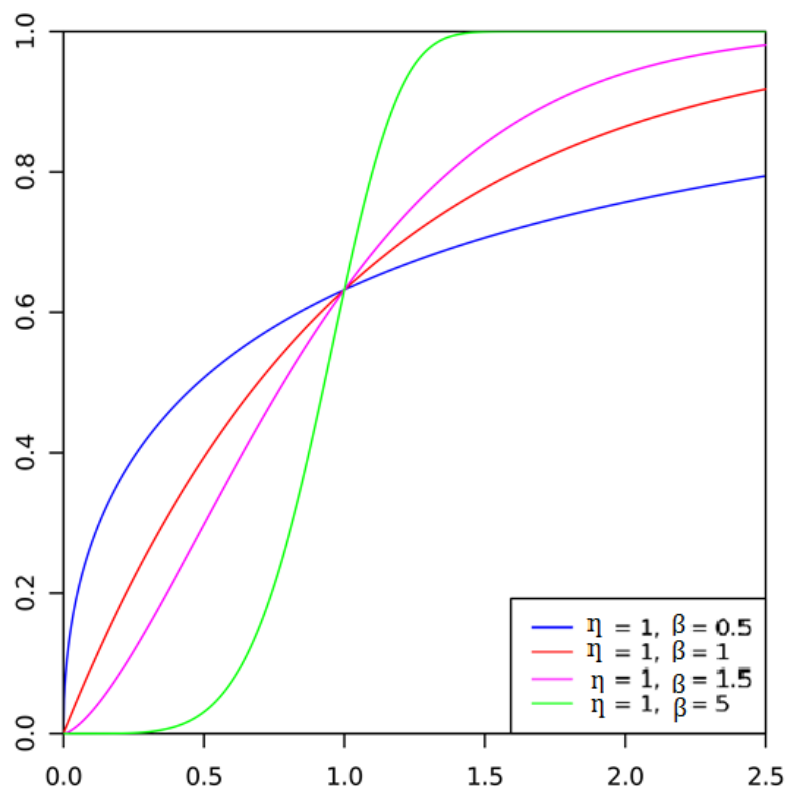


Figura A. 3 Função distribuição de probabilidade cumulativa da distribuição de Weibull com o cenário de varias parâmetros de forma (Maddock, J. et al. 2008)

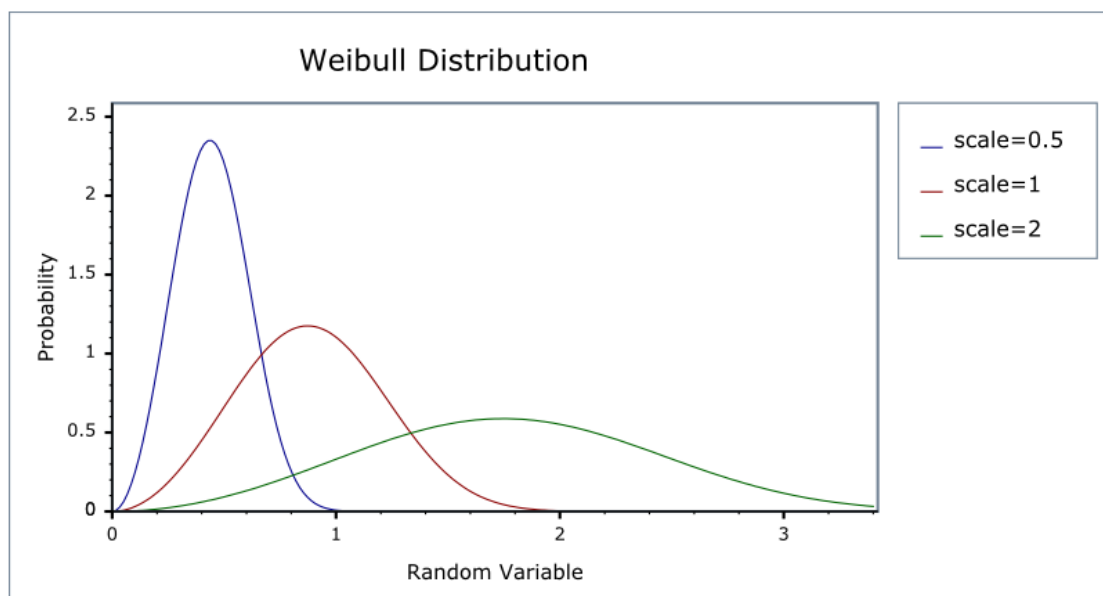


Figura A. 2. Função distribuição de probabilidade cumulativa da distribuição de Weibull com o cenário de varias parâmetros de escala (Maddock, J. et al. 2008).

Anexo B – Registos para o cálculo da eficiência da linha CL03

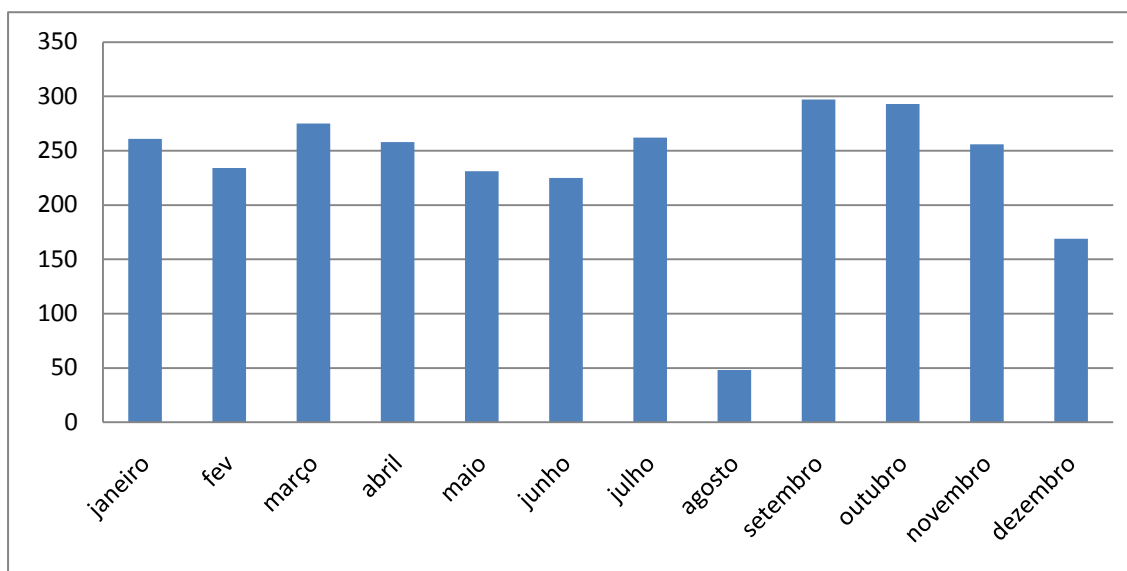


Figura B. 1 Representação gráfica da disponibilidade da Linha de corte CL03 em 2010.

Tabela B. 1 Registos de produção da linha CL03 no ano de 2010.

	Horas de serviço de 2010	Toneladas produzidas	Tons/h ora	Toneladas previstas	Tons/h ora
Janeiro	261	5239,957	20,1	6525	25
Fevereiro	234	4206,686	18,0	5850	25
Março	275	5720,396	20,8	6875	25
Abril	258	5354,2	20,8	6450	25
Maio	231	4761,885	20,6	5775	25
Junho	225	4733,801	21,0	5625	25
Julho	262	5218,829	19,9	6550	25
Agosto	48	791,705	16,5	1200	25
Setembro	297	6517,149	21,9	7425	25
Outubro	293	6363,761	21,7	7325	25
Novembro	256	5118,489	20,0	6400	25
Dezembro	169	3069,238	18,2	4225	25
Total	2809	57096,096		70225	

Anexo C – Parâmetros necessário ao cálculo da estatística de teste do teste de *Laplace*

CL03			
$\sum \tau_i$	23403	Z_0	2,59
Duração do ensaio (dias)	720	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	55	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 1 Teste de Laplace da guilhotina circular da linha CL03.

CL03			
$\sum \tau_i$	12088	Z_0	1,20
Duração do ensaio (dias)	720	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	32	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 2 Teste de Laplace do desenrolador da linha CL03.

CL04			
$\sum \tau_i$	12787	Z_0	0,04
Duração do ensaio (dias)	709	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	38	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 3 Teste de Laplace ao desenrolador da linha CL04.

CL04

$\sum \tau_i$	5178	Z_0	-2,16
Duração do ensaio (dias)	709	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	28	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 4 Teste de Laplace ao carro de entrada da linha CL04.

CL04

$\sum \tau_i$	9608	Z_0	1,88
Duração do ensaio (dias)	709	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	23	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 5 Teste de Laplace da guilhotina circular da linha CL04.

CL04

$\sum \tau_i$	5749	Z_0	-1,81
Duração do ensaio (dias)	709	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	22	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 6 Teste de Laplace do sistema hidráulico da linha CL04.

CL08

$\sum \tau_i$	9876	Z_0	-0,21
Duração do ensaio (dias)	722	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	28	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 7 Teste de Laplace da guilhotina circular da linha CL08.

CL08

$\sum \tau_i$	4244	Z_0	-1,33
Duração do ensaio (dias)	722	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	16	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 8 Teste de Laplace do desenrolador da linha CL08.

CL08

$\sum \tau_i$	3936	Z_0	-2,00
Duração do ensaio (dias)	722	$\frac{\alpha}{2}$	0,05
nf	16	Z	$\{-1,65; 1,65\}$

Figura C. 9 Teste de Laplace do enrolador da linha CL08.

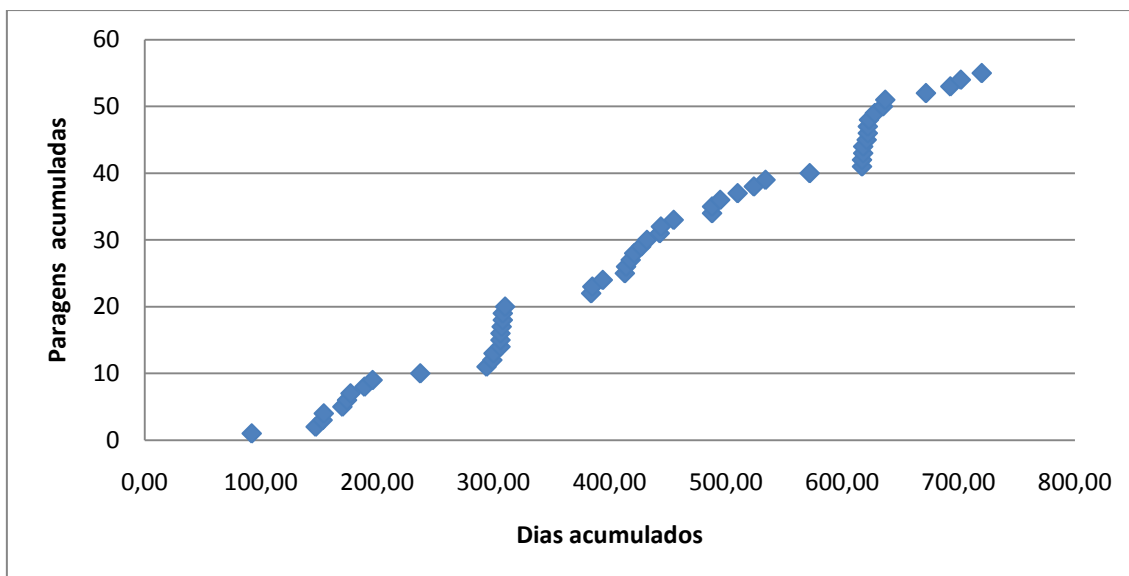
Anexo D – Representação gráfica dos Testes de *Laplace*

Figura D. 1 Representação das falhas acumuladas na guilhotina circular da linha CL03.

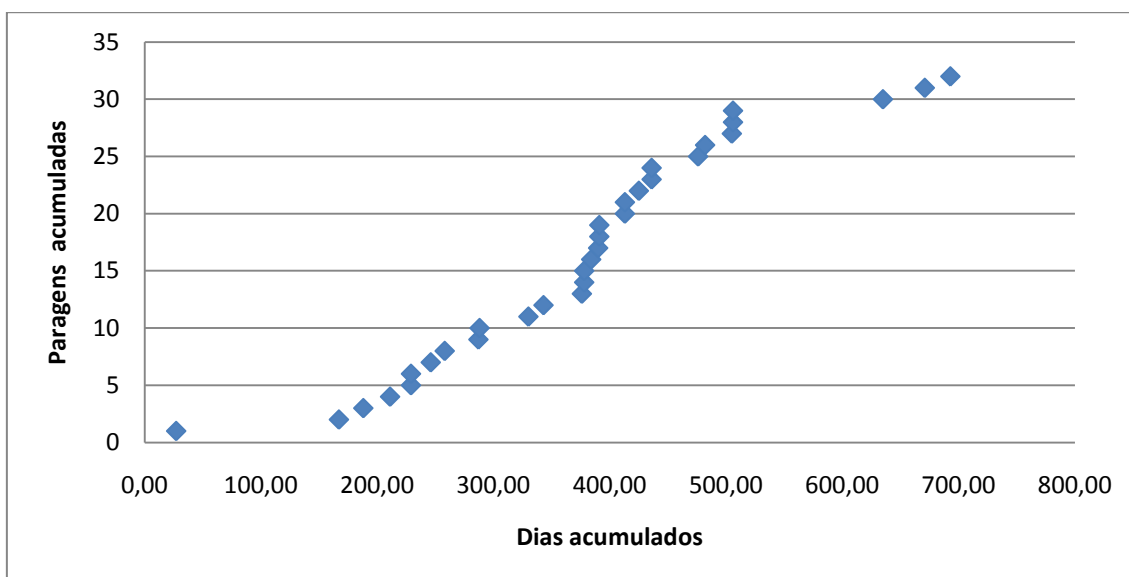


Figura D. 2 Representação das falhas acumuladas do desenrolador da linha de produção CL03.

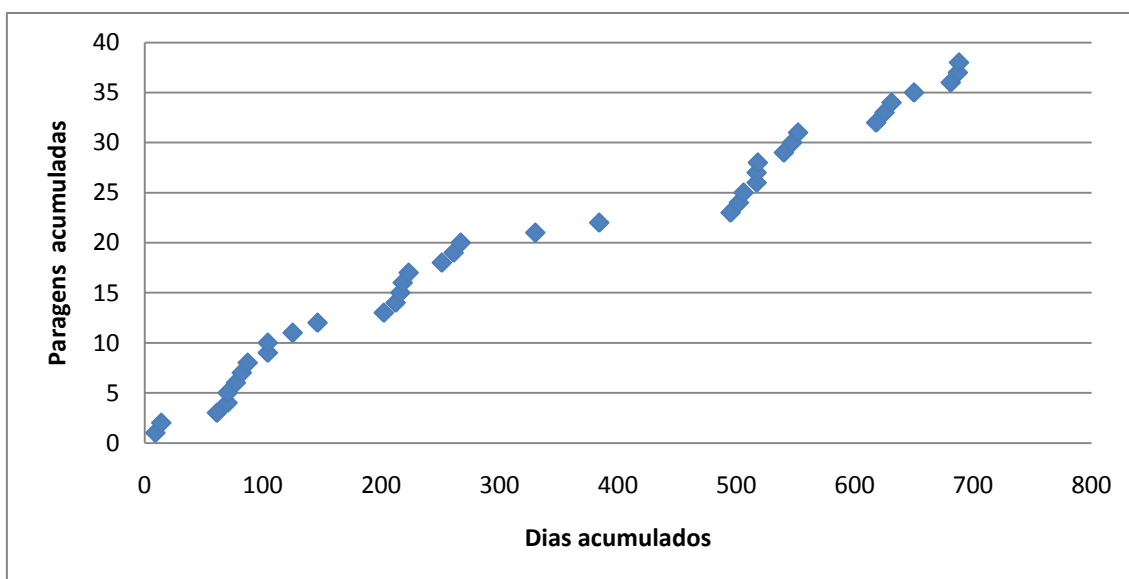


Figura D. 3 Representação das falhas acumuladas do desenrolador da linha CL04.

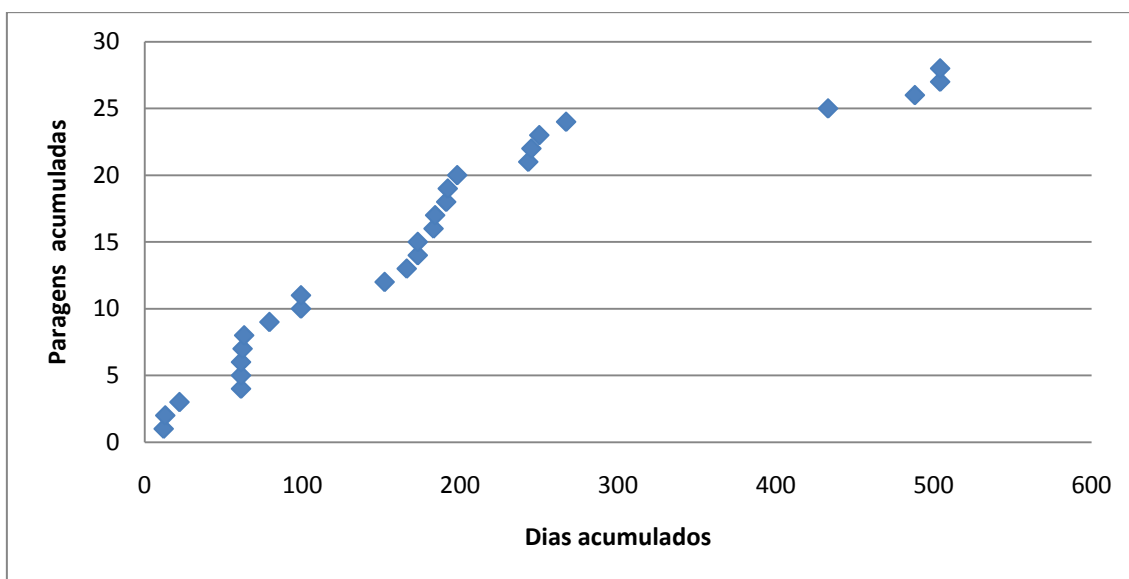


Figura D. 4 Representação das falhas acumuladas do carro de entrada da linha CL04.

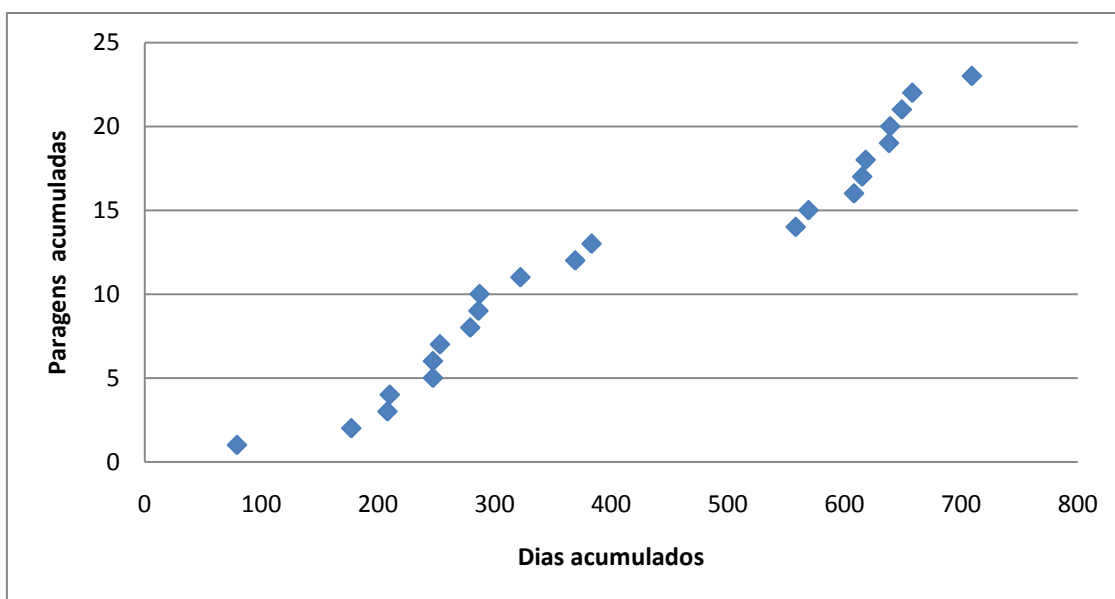


Figura D. 5 Representação das falhas acumuladas da guilhotina circular da linha CL04.

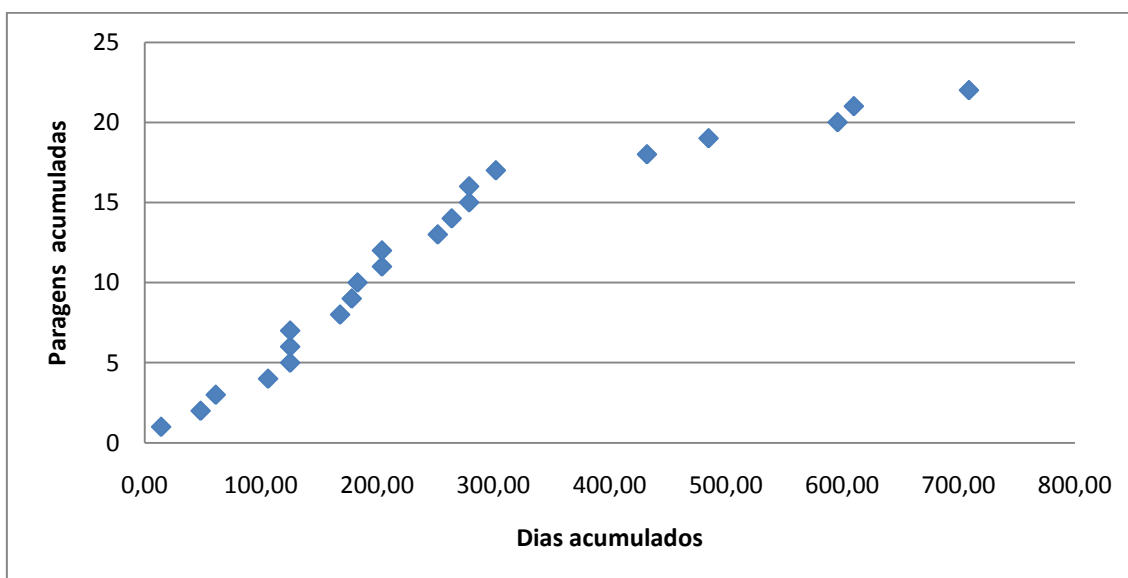


Figura D. 6 Representação das falhas acumuladas do sistema hidráulico da linha CL04.

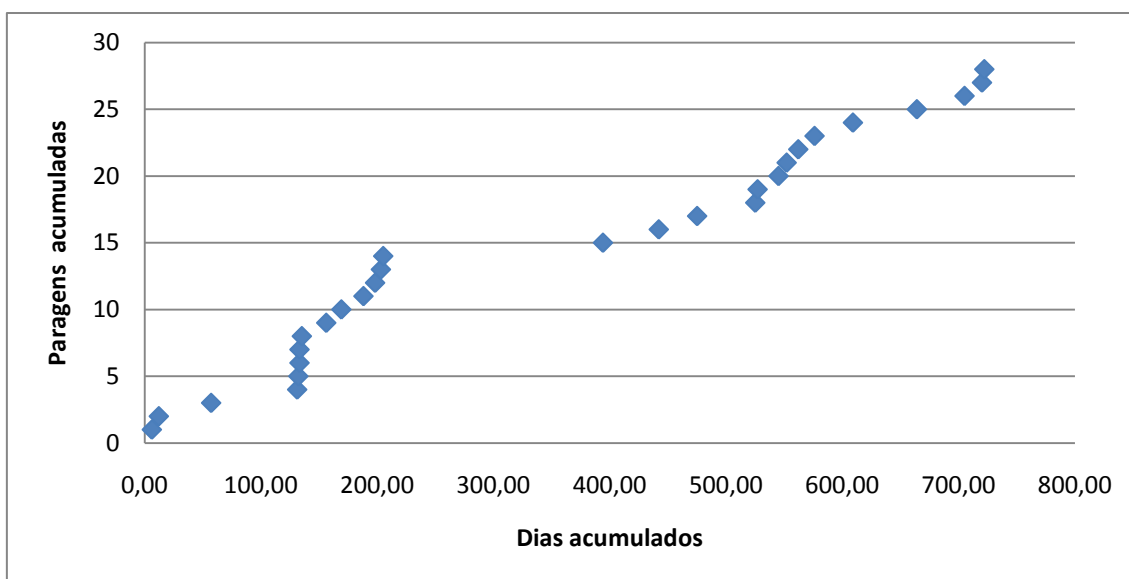


Figura D. 7 Representação das falhas acumuladas da guilhotina circular da linha CL08.

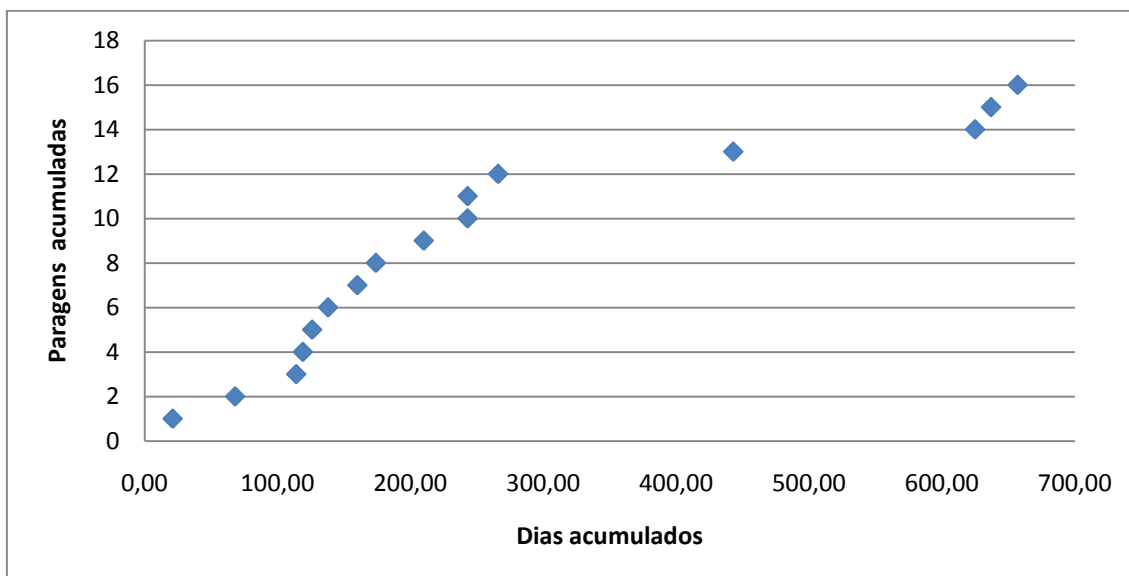


Figura D. 8 Representação das falhas acumuladas do desenrolador da linha CL08.

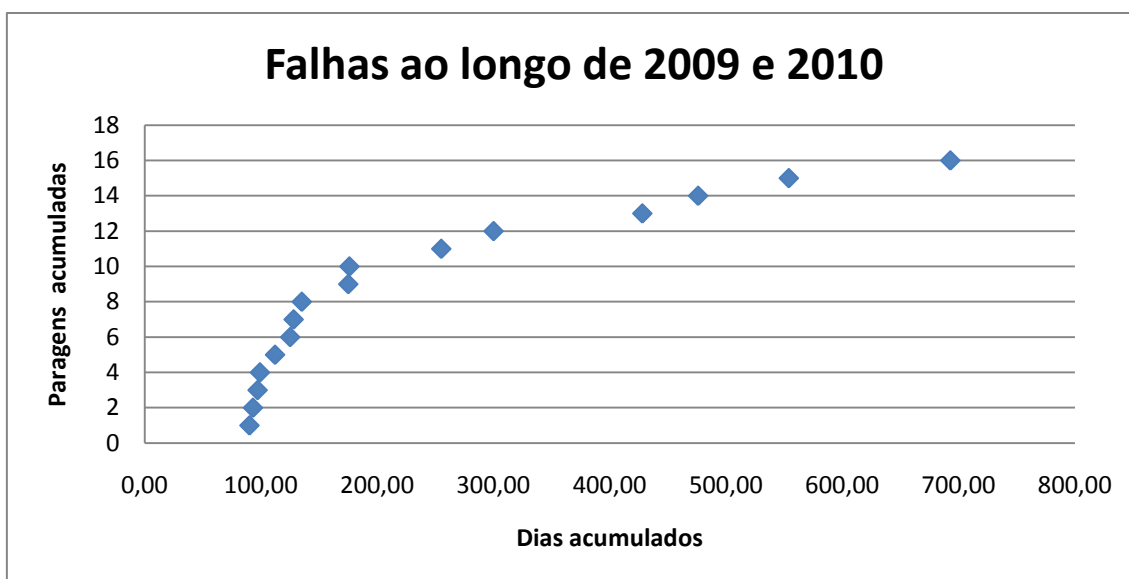


Figura D. 9 Representação das falhas acumuladas do Enrolador da linha CL08.

Anexo E – Representação gráfica da adaptação dos dados à distribuição de Weibull

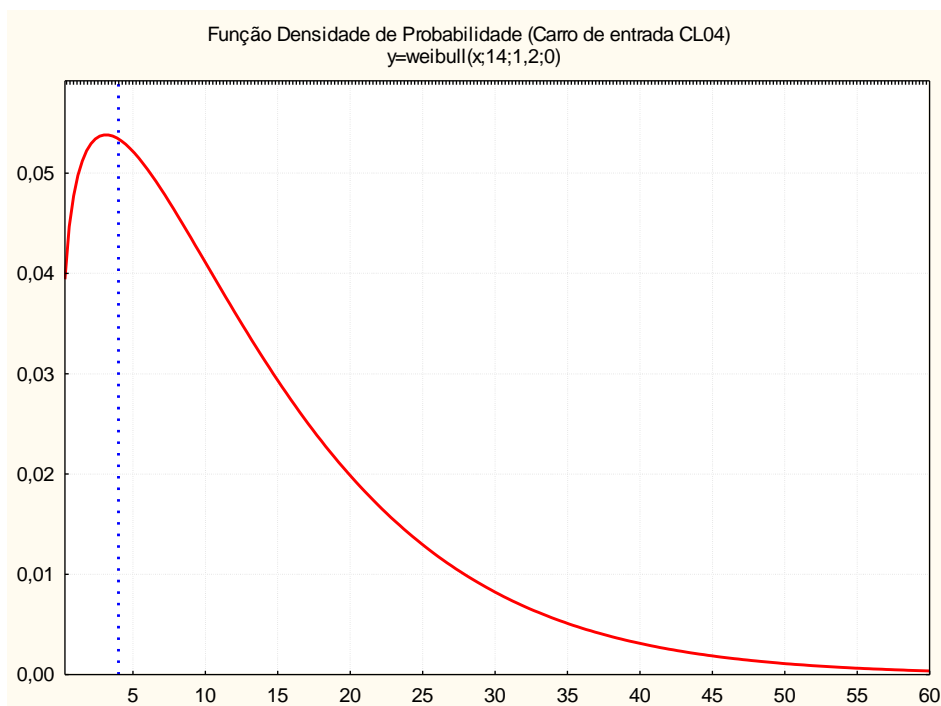


Figura E. 1 Função Densidade de Probabilidade do carro de entrada da linha CL04 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

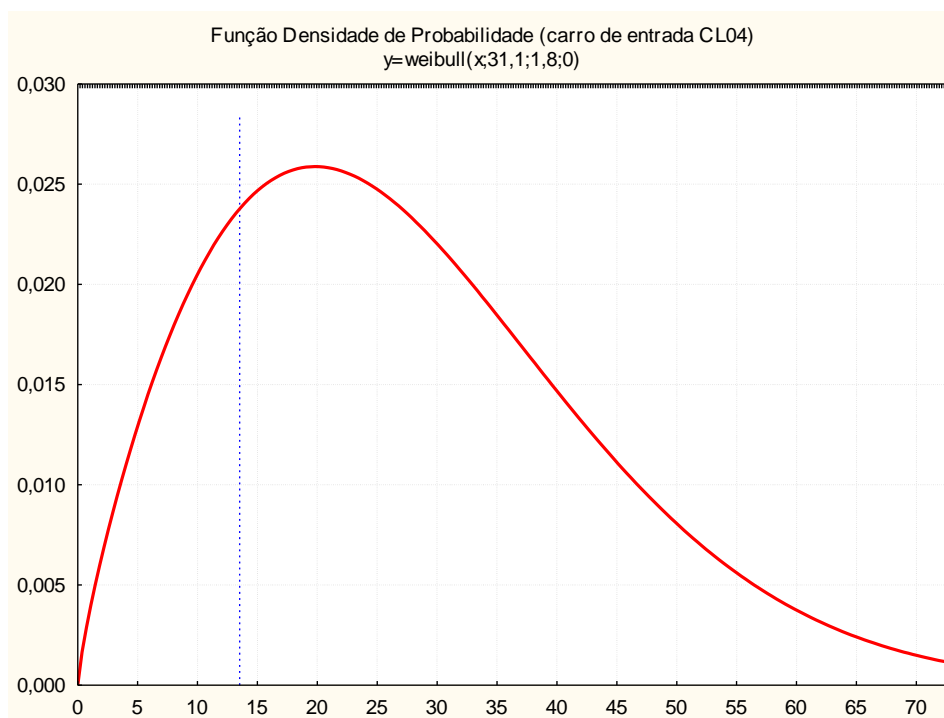


Figura E. 2 Função densidade de Probabilidade do carro de entrada da linha CL04 (para o limite superior do intervalo de confiança).

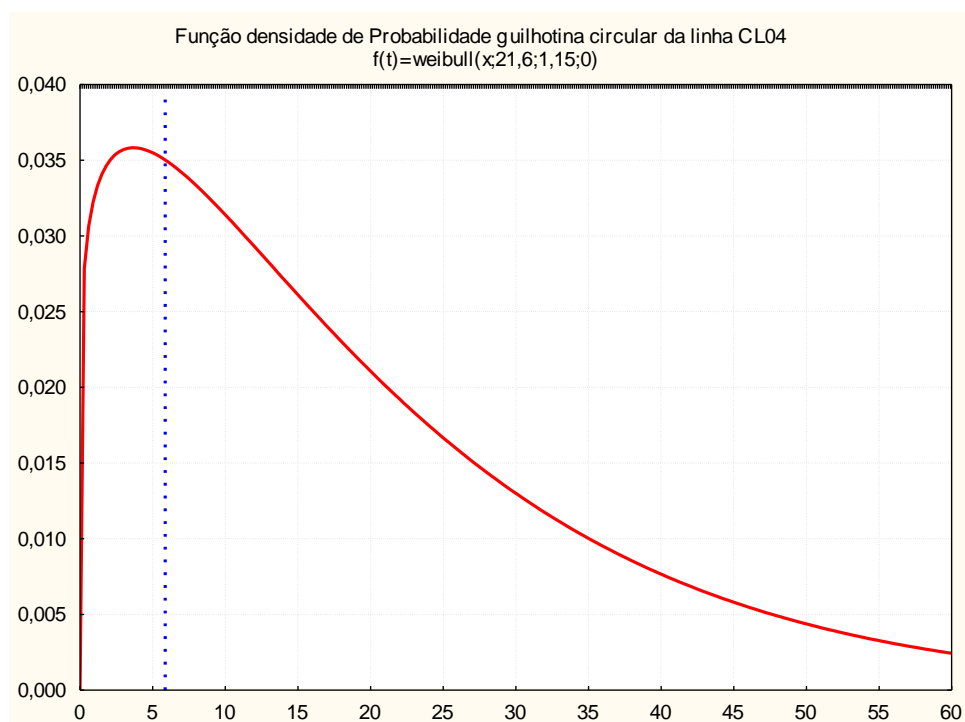


Figura E. 3 Função densidade de Probabilidade da guilhotina circular da linha CL04 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

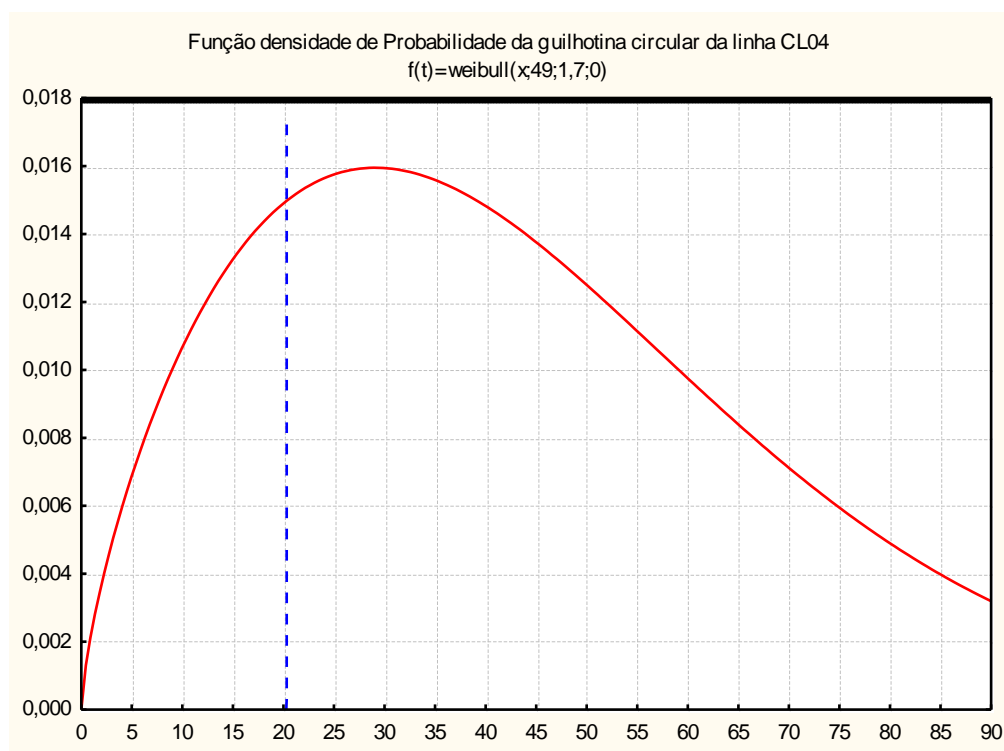


Figura E. 4 Função densidade de Probabilidade da guilhotina circular da linha CL04 (para o limite superior do intervalo de confiança).

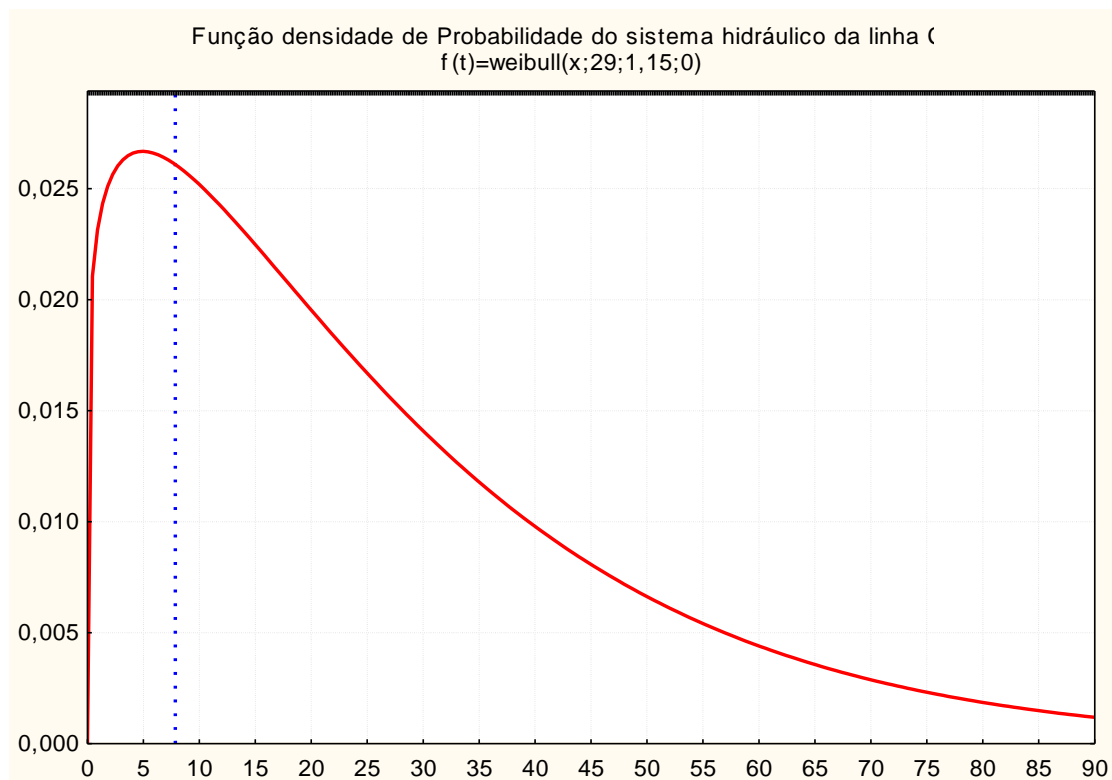


Figura E. 5 Função densidade de Probabilidade do sistema hidráulico da linha CL04 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

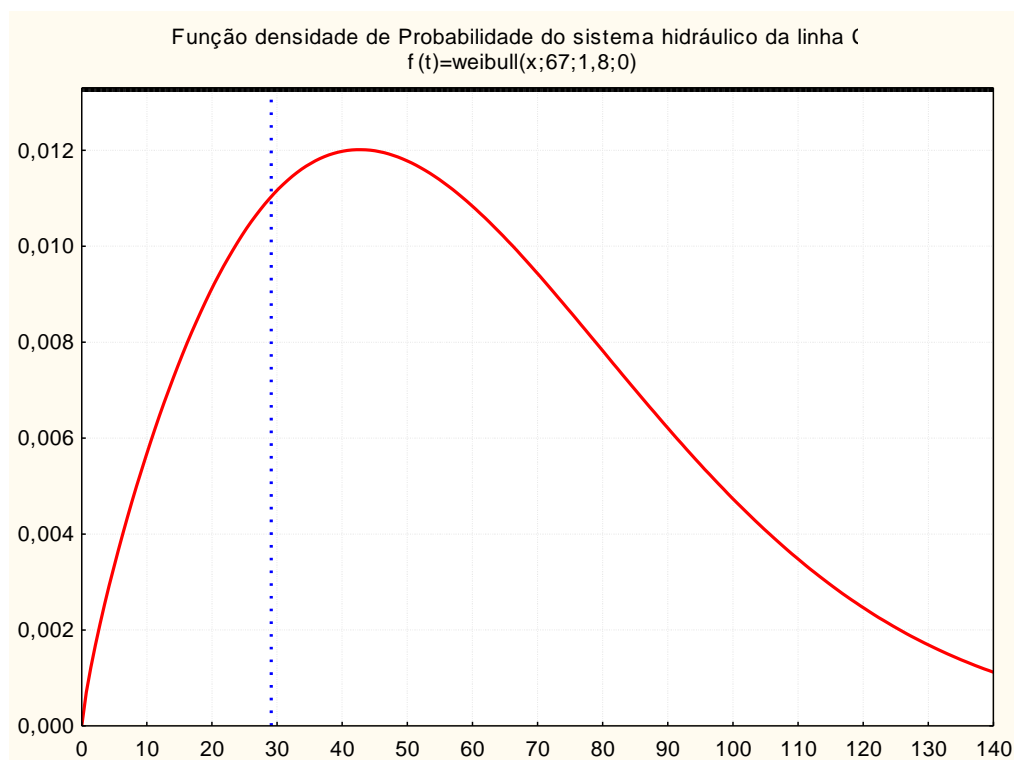


Figura E. 6 Função densidade de Probabilidade do sistema hidráulico da linha CL04 (para o limite superior do intervalo de confiança).

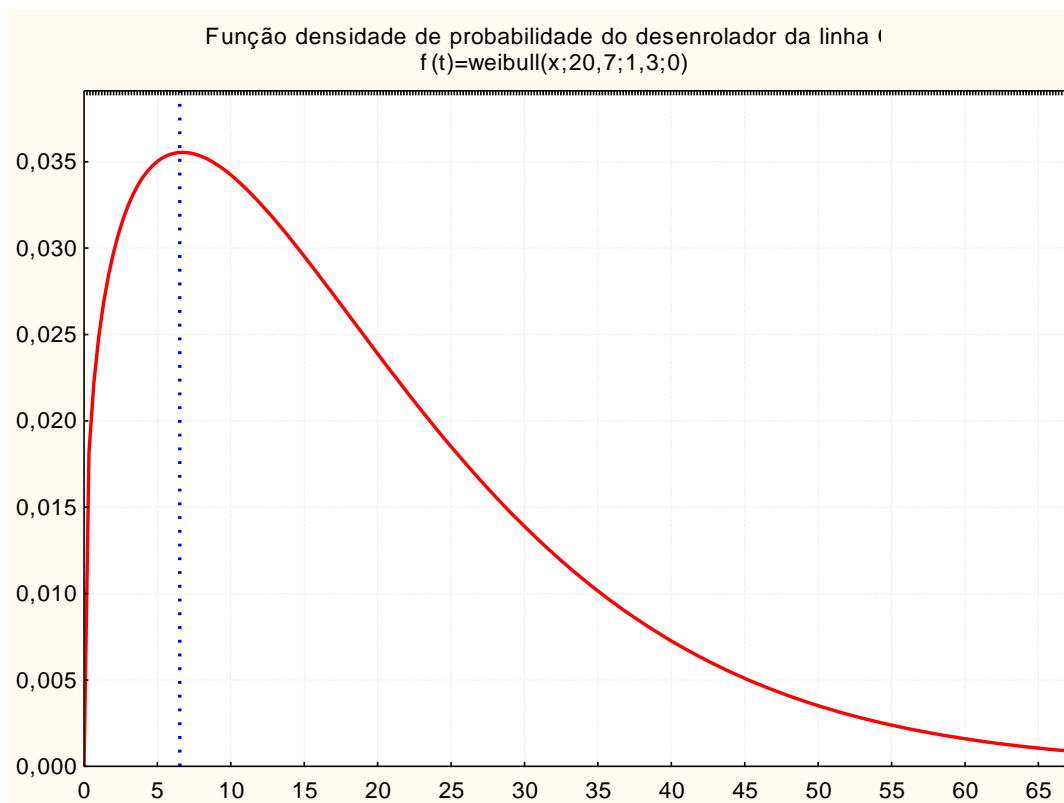


Figura E. 8 Função densidade de Probabilidade do desenrolador da linha CL08 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

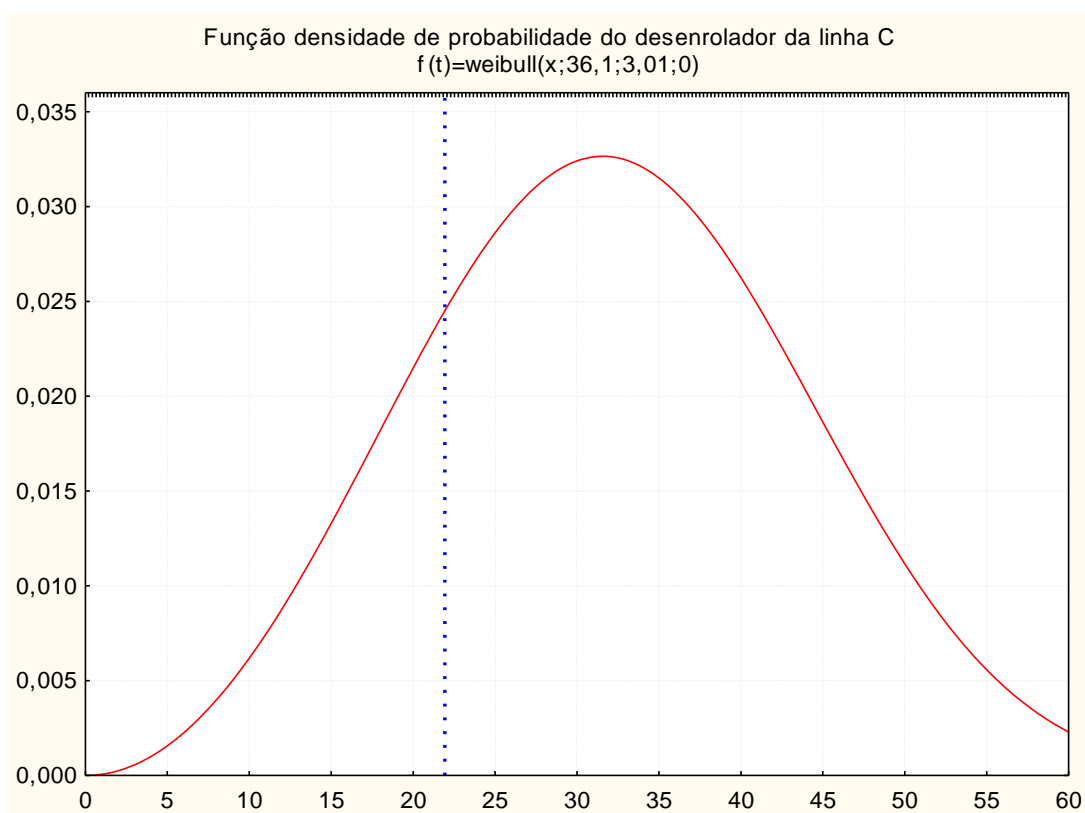


Figura E. 7 Função densidade de Probabilidade do desenrolador da linha CL08 (para o limite superior do intervalo de confiança).

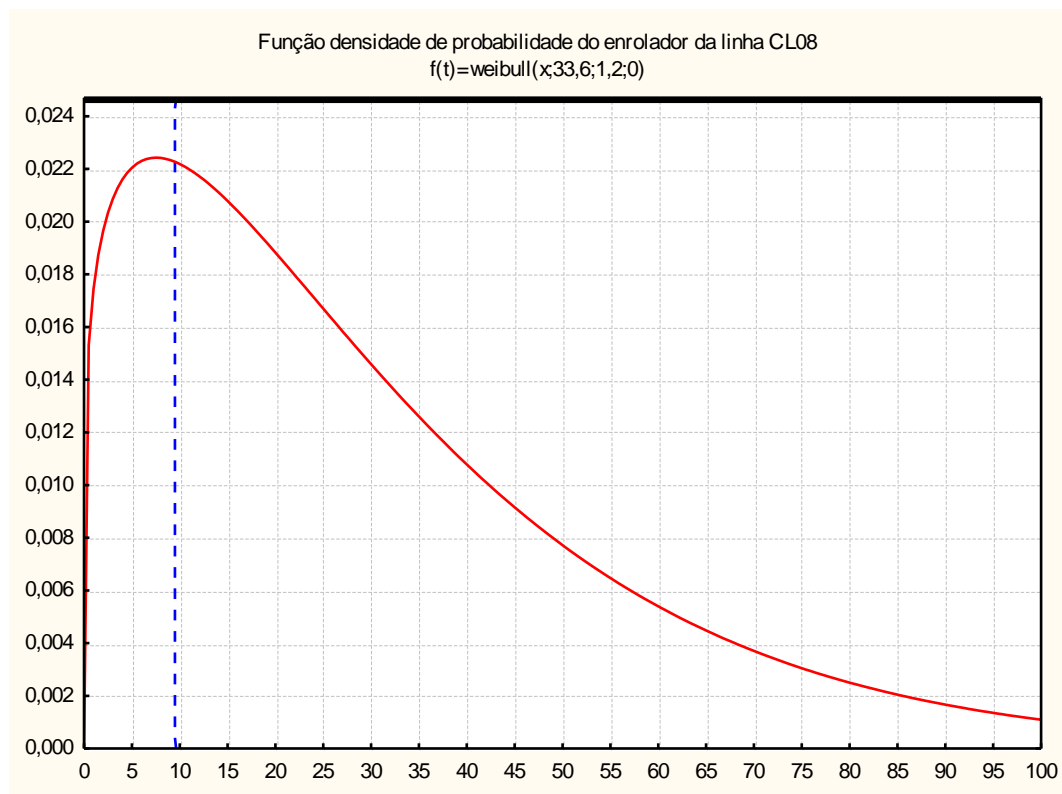


Figura E. 9 Função densidade de Probabilidade do enrolador da linha CL08 (para o limite inferior do intervalo de confiança).

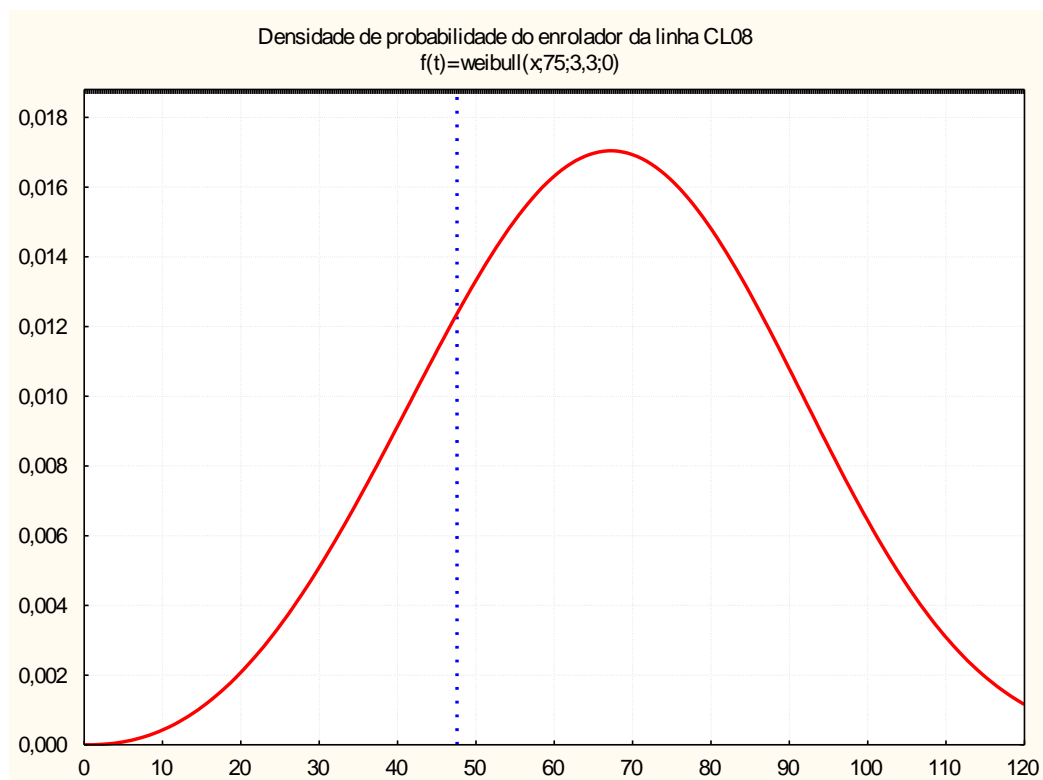


Figura E. 10 Função densidade de Probabilidade do enrolador da linha CL08 (para o limite superior do intervalo de confiança).